



**Naturalis**

Repositorio Institucional  
<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar>

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo



# **Caracterización detallada de la mineralización en veta Eureka, y su comparación con otras mineralizaciones del Distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina**

**Permuy Vidal, Conrado**

Doctor en Ciencias Naturales

Dirección: Guido, Diego M.

Facultad de Ciencias Naturales y Museo  
2014

Acceso en:  
<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20140902001367>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons  
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional



**Naturalis**

Repositorio Institucional  
FCNyM - UNLP

**Caracterización detallada de la mineralización en veta  
Eureka, y su comparación con otras mineralizaciones del  
Distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, Santa Cruz,  
Argentina**

TESIS DOCTORAL

**Conrado Permuy Vidal**

Director: Dr. Diego M. Guido

Universidad Nacional de La Plata  
Facultad de Ciencias Naturales y Museo

2014

*A mi mujer Pilar*

*A mis hijos Félix y Justo*

*A mi hermano Alejo*

## Resumen

El distrito Cerro Negro está ubicado en el noroeste del Macizo del Deseado a unos 50 km al sureste de la localidad de Perito Moreno en la provincia de Santa Cruz (Patagonia, Argentina). Comprende un conjunto de mineralizaciones vetiformes epitermales de Au-Ag con reservas calculadas en 6,7 Moz Au eq., que posicionan actualmente a Cerro Negro como el más importante proyecto epitermal de oro y plata de la región y como uno de los más importantes descubrimientos epitermales a nivel mundial. En el sector oeste del distrito se alojan los depósitos más importantes que son la veta Eureka y el sistema de vetas Marianas-San Marcos. En este sector es donde se han desarrollado los estudios de esta tesis doctoral.

La geología del sector oeste del distrito está dominada por una secuencia volcánica del Jurásico superior correspondiente al Complejo Volcánico Bahía Laura, apoyada sobre un basamento metamórfico no aflorante con una edad máxima de depositación de ~379 Ma (Devónico superior) equivalente a la Formación La Modesta (Macizo del Deseado) y al Complejo Metamórfico Andino Oriental (Argentina-Chile). El vulcanismo está representado por un ciclo inicial denominado Sección Inferior, que se asigna a la Formación Bajo Pobre, conformado por intercalaciones de lavas y niveles piroclásticos de flujo de composiciones andesíticas a dacíticas y cuerpos intrusivos subvolcánicos de similares composiciones. Todas estas unidades están relacionadas genéticamente a través de un tren evolutivo co-magmático de composiciones mayormente intermedias, y se interpreta que formarían parte de un aparato volcánico de naturaleza poligenética y posiblemente de larga vida ( $>3$  Ma). Con posterioridad, y como consecuencia de un alto gradiente térmico, se generaron las condiciones para el emplazamiento de un campo geotermal-hidrotermal de unos 15 km<sup>2</sup>. Los fluidos hidrotermales se focalizaron en sitios de mayor permeabilidad como son las zonas extensivas de grandes fallas, posiblemente heredadas del basamento (Eureka) y en fracturas secundarias (sistema Marianas-San Marcos), generando depósitos epitermales de Au-Ag. En niveles someros (zonas de descarga) se distinguen depósitos de brechas de erupción hidrotermal con niveles de retrabajamiento intercalados, alteraciones hidrotermales de naturaleza ácida y depósitos de *hot spring*. Luego se desarrolla un ciclo tardío agrupado en la Sección Superior, que se asigna a las formaciones Chon Aike y La Matilde, caracterizado por una secuencia mayormente ácida,



formada por tobas y tufitas, ignimbritas y domos extrusivos de composiciones riolíticas, que no muestran una relación co-magmática con las unidades previas. Esta parte de la secuencia marca una declinación en la frecuencia del vulcanismo, que se desarrolla de manera más episódica y relacionada a la evolución de complejos de domos, posiblemente vinculados a un vulcanismo de naturaleza mayormente monogenética.

Las mineralizaciones corresponden a cuerpos vetiformes de rumbo NO, ONO y EO con longitudes, espesores y contenidos en metales preciosos excepcionales. Eureka es la veta más importante del distrito y del Macizo del Deseado, con una longitud de hasta 5 km y espesores de hasta 20 metros. En el extremo oeste, conocido como clavo Eureka West, se reconocieron tres etapas: hidrotermal, tectónica, y supergénica. En la etapa hidrotermal predominan los bandeados crustiforme-coloformes de cuarzo-calcedonia, adularia y carbonatos de Fe-Mn con un progresivo aumento de sílice y una disminución en el tamaño de las bandas. El oro se encuentra como electrum ( $\text{Au}_{40}\text{Ag}_{60}$ ) asociado a sulfuros y sulfosales de plata junto a sulfuros de metales base en bandas tipo *ginguro* en bajas proporciones (1%). Vetillas de calcita cortan al episodio mineralizante principal. El episodio tectónico está representado por cuerpos de brechas de falla con clastos de veta bandeadas que por sectores aportan elevados tenores de plata. Una importante etapa supergénica desarrollada hasta 400 metros de profundidad, modifica los minerales primarios reemplazándolos por una nueva asociación mineral secundaria concentrando los metales preciosos, asociados a microfracturas ricas en óxidos de hierro. La signatura geoquímica de la veta está caracterizada por Au, Ag, Pb, Zn, Cu y As, con una relación Ag:Au de ~17:1. La alteración hidrotermal incluye cuarzo, adularia, illita, esmectita y clorita. Las inclusiones fluidas indican que el fluido mineralizante con evidencias de ebullición alcanza temperaturas de 260°C y salinidades de entre 1-2% de NaCl eq. Los datos de isótopos estables establecen un origen meteórico para las aguas con un importante aporte magmático para el principal evento mineralizante, y para episodios tardíos composiciones que evidencian la presencia de aguas calentadas por fase vapor. El episodio hidrotermal principal arrojó una edad de ~156 Ma mostrando la coetaneidad con el vulcanismo andesítico-dacítico de la Sección Inferior. El clavo Eureka West se clasifica como un depósito epitermal de metales preciosos de tipo sulfuración intermedia a baja, tipología frecuente en el Macizo del Deseado (e.g. San José, Manantial Espejo y Martha).

El sistema Marianas-San Marcos está conformado por vetas epitermales de cuarzo-adularia-esmectita con mineralización de Au (Ag), compuestos mayormente por texturas coloformes-crustiformes agrupadas en 4 episodios principales, siendo 3 de naturaleza hidrotermal y el último de tipo tectónico-hidrotermal. La mineralización principal de metales preciosos se encuentra asociada a bandas tipo *ginguro* ricas en sulfuros y sulfosales de plata con metales base. La signatura geoquímica de las vetas corresponde a Au, Ag, As, Sb, Zn, Pb, Se y Hg, con una relación Ag:Au <10:1. La alteración hidrotermal incluye cuarzo, adularia, illita, esmectita, illita-esmectita y clorita, conformando un halo de minerales de mayor temperatura alrededor de las vetas. Cerca de la superficie, y asociado a depósitos de brechas de erupción hidrotermal, se identifican alteraciones de tipo ácida que indican el paleo nivel freático. Las inclusiones fluidas indican que el fluido mineralizante alcanzó temperaturas de entre 220- 300°C y salinidades de entre 1-3% de NaCl eq. Los datos de isótopos estables establecen un origen meteórico para los fluidos del principal evento mineralizante e indican un origen magmático para los metales. Además en forma tardía, se registraron aguas calentadas por fase vapor que percolaron durante episodios de pausa en el hidrotermalismo, representadas en vetillas de calcita tardía que diluyen la mineralización principal. Las texturas de las vetas, los estudios de inclusiones fluidas y la presencia de brechas de erupción hidrotermal encima de las vetas Marianas, revelan ebullición con procesos de *flashing* como mecanismos de formación de las vetas. Las vetas se han formado a ~155 Ma durante las últimas etapas del vulcanismo andesítico-dacítico de la Sección Inferior. Las vetas Marianas-San Marcos se clasifican como depósitos epitermales de metales preciosos de tipo baja sulfuración comparables en el Macizo del Deseado con el depósito Cerro Vanguardia y con Hishikari (Japón), Round Mountain, Sleeper, McLaughlin y Midas (oeste de EEUU), y Martha Hill Favona (Nueva Zelanda). Este sistema de vetas puede clasificarse como un sistema epitermal de tipo *hot spring* formado cerca del paleo nivel freático.

El depósito epitermal de Cerro Negro representa el mejor ejemplo de depósitos de Au-Ag de alta ley pertenecientes al Modelo Geotermal del Macizo del Deseado, con preservación de los dos subtipos (proximal y distal a intrusivos), aportando gran variedad de características mineralógicas, geoquímicas y de exploración hasta ahora no reconocidas en la provincia metalogénica del Deseado.

## Abstract

The Cerro Negro mining district is located in the northwestern margin of the Deseado Massif, at 50 km southeast from Perito Moreno city, Santa Cruz province (Patagonia, Argentina). It contains a group of epithermal Au-Ag vein deposits with estimated reserves of 6.7 Moz Au eq., being the most relevant epithermal project in the area and one of the most important recent discoveries in the world. This thesis illuminates the highest grades comprising Eureka West and the Marianas-San Marcos structures at the westernmost part of the district.

The geology of the area is characterized by a thick volcanic sequence of Upper Jurassic age, grouped in the Bahía Laura Volcanic Complex, lying on a non outcropping low grade metamorphic rocks with maximum depositional age of  $379 \pm 4$  Ma (Upper Devonian). These rocks are equivalents of the La Modesta Formation (Deseado Massif) and the Eastern Metamorphic Complex (Andean Cordillera of Argentina and Chile). The volcanic sequence initiates with a Lower Section assigned to the Bajo Pobre Formation. It comprises a series of lava flows alternating with ignimbrites of andesitic to dacitic composition, intruded by subvolcanic bodies of the same composition. These rocks are genetically related by a co-magmatic trend of intermediate composition, interpreted as the product of a long-lived polygenetic volcanic edifice ( $>3$  Ma). During the last stages of this sequence, and as a consequence of a high geothermal gradient, a large geothermal hydrothermal field of about  $\sim 15$  km<sup>2</sup> area, developed in the area. Hydrothermal fluids focus on major permeable extensional faults (probably with basement roots) such as Eureka and/or on through secondary order structures (Marianas-San Marcos system) generating shallow Au-Ag epithermal deposits.

A broad discordance separates these rocks from the overlying volcanic units, and those were grouped in the Upper Section, assigned to the Chon Aike and La Matilde formations. This sequence is characterized by tuffs, ignimbrites and domes mostly of rhyolitic composition, and can be related to a waning stage in the volcanic activity, which turns into more episodic and possibly related to one or several monogenetic sources.

The mineralization comprises NW, WNW and EW trending structures, with exceptional longitudes, thicknesses and Au-Ag grades. Eureka is the most prominent vein in the district and also in the Deseado Massif, with almost 5 kilometers long and up to 20 meters

thick. The northwestern portion of this vein is called Eureka West, at which 3 major mineralization phases were recognized: hydrothermal, tectonic and supergene. The first hydrothermal phase is mostly composed of quartz-chalcedony, adularia and Fe-Mn carbonates, arranged in crustiform-colloform banding with a decrease in band thickness and a silica increase toward the center of the banding. Gold appears as electrum ( $\text{Au}_{40}\text{Ag}_{60}$ ) in dark ginguero bands related with silver sulfides and sulfosalts along with base metals bearing minerals, ore minerals totalize less than 1% of the vein volume. Calcite veinlets commonly develop late within the vein evolution. The tectonic phase is composed by fault breccias with erratic silver anomalies. A major supergene phase affects this vein down to 400 m below the surface, replacing primary ore minerals by a secondary assemblage, relatively increasing the precious metals contents. The geochemical signature of the vein includes Au, Ag, Pb, Zn, Cu and As, with Ag:Au ratios averaging about 17:1. The hydrothermal alteration assemblage is made of quartz, adularia, illite, smectites and chlorite. Fluid inclusion studies reveal homogenization temperatures of 260°C and salinities of 1-2% NaCl eq., with extensive boiling evidences. Stable isotopes demonstrate a meteoric origin for the hydrothermal fluids, with some magmatic affinity at the main mineralization episode. Mineralization ages yielded 156 Ma, overlapping with the youngest ages within the Lower Section of the volcanic sequence. Based on these conclusions, Eureka West is classified as an intermediate to low sulfidation epithermal deposit, shallow equivalent of other vein systems described in the Deseado Massif (e.g. Manantial Espejo and Mina Martha), Sierra Madre in Mexico (e.g. Fresnillo y Veta Madre), and several locations across the world.

The Marianas-San Marcos vein system is composed of several quartz (chalcedony)-adularia-smectites Au-Ag veins with well-developed colloform-crustiform bandings. Mineralization formed during 3 major hydrothermal episodes and fourth late-stage episode with tectonic features. Ore minerals are related to dark ginguero bands with silver sulfide and sulfosalts and associated base metals minerals. Geochemically, the vein system shows Au, Ag, As, Sb, Zn, Pb, Se and Hg anomalies, with Ag:Au ratios typically <10:1. The hydrothermal alteration minerals evidence an increase of temperatures towards the veins, including quartz, adularia, illite, smectite, illite-smectites and chlorite as mineral indicators. Acid hydrothermal alteration assemblage can be found above the veins, and can be related to the hydrothermal eruption breccia deposits found on top of the vein system. The fluid responsible for mineralization yield homogenization temperatures ranging between 220° and 300°C, and salinities from 1 to 3% NaCl eq., with a strong meteoric signature for the fluids and a magmatic component as possible source for the metals. Lately in the paragenetic

sequence, steam heated waters collapsed into the vein system, giving rise to widespread calcite veins that dilutes the main mineralization. Based on vein textures, fluid inclusion studies and the identification of several hydrothermal eruption breccia deposits, flashing processes is proposed as the main ore-forming mechanism. This vein system veins was dated in ~155 Ma, and can also be linked with the youngest andesitic to dacitic magmatism of the Lower Section. The Marianas-San Marcos correspond to a typical shallow low sulfidation epithermal deposits, comparable; Hishikari (Japan); Round Mountain, Sleeper, McLaughlin and Midas (western USA); and Martha Hill-Favona (New Zealand), among others. Based on the close relation with the paleo-watertable, this vein system could also be classified as a hot spring-type epithermal deposit.

Finally, the described vein systems are characterized by the preservation of several shallow features of the hydrothermal systems. Hydrothermal eruption breccias deposits, associated with acid alteration, were described as a cover unit at the Marianas veins, with surfaces over 1 km<sup>2</sup> size. These deposits are composed of two main vein-bearing breccia facies, separated by two layers of reworked volcanoclastic material, showing pauses within explosive events. Moreover, shallow features expressed as hot spring travertine deposits developed in fluvio-lacustrine environments are preserved to the southeast in close association with Eureka vein.

Cerro Negro represent the best example of high grade Au-Ag deposits of the Geothermal Model proposed for area, with the preservation of two subtypes (proximal and distal to intrusives), contributing with a variety of unknown mineralogical, geochemical and exploration features to the Deseado Massif metallogenic province.

## **Agradecimientos**

El autor agradece a las siguientes instituciones, compañías y personas que han colaborado con el presente trabajo de Tesis Doctoral:

-A mi director Dr. Diego Guido, por su apoyo incondicional, por sus valiosas sugerencias y por estar permanentemente dispuesto a mis consultas y dudas.

-A las empresas Oroplata S.A y Goldcorp Inc. por el apoyo económico y logístico que permitieron la realización de este trabajo de investigación. En especial a Gassaway Brown, Damián Echavarría, Analía Bruna y a todo el equipo geológico y técnico de Cerro Negro.

-A mis compañeros del INREMI, a su director Dr. I. B. Abel Schalamuk, y en especial a Sebastián Jovic por haberme acompañado en varias campañas, como también a Gerardo Páez, Remigio Ruiz y Luciano López por su invaluable ayuda a lo largo de estos años.

-Al Dr. Joan Carles Melgarejo de la Universidad de Barcelona (España) por su ayuda en la realización de las mediciones con microsonda electrónica.

-A Javier Ríos y su grupo de trabajo del CDTN (Belo Horizonte, Brasil), a Pablo Leal y Teresita Montenegro del Departamento de Geología de la UBA, a Daniel Moncada, a Robert Bodnar, y su grupo de trabajo del Laboratorio de Inclusiones Fluidas de la Universidad de Virginia (EEUU) por su asesoramiento y aporte durante los estudios de inclusiones fluidas.

-A la María Eugenia Rodríguez por la ayuda en las interpretaciones realizadas mediante ASD. A Pablo García, Daniel Poiré y al Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP) quienes aportaron los análisis de difracción de Rayos X.

-A la Lic. Manuela Salazar por su colaboración desinteresada en el estudio de las brechas hidrotermales.

# Índice

## Capítulo 1. Introducción

1.1. Objetivo.....	1
1.2. Antecedentes de exploración y su descubrimiento .....	5
1.3. Plan de Tesis .....	7
1.4. Esquema de la tesis .....	8

## Capítulo 2: Geología del oeste del distrito auroargentífero Cerro Negro, Macizo del Deseado, Argentina

2.1. Introducción .....	10
2.2. Geología regional del Macizo del Deseado .....	10
2.3. Geología del distrito Cerro Negro.....	13
2.3.1. Basamento Pre-Jurásico .....	15
2.3.1.1. Litología y estructura .....	18
2.3.1.2. Geoquímica .....	18
2.3.1.3. Geocronología.....	19
2.3.2. Secuencia Volcánica Jurásica .....	25
2.3.2.1. Sección Inferior.....	26
2.3.2.2. Sección Superior .....	32
2.3.3. Geoquímica del vulcanismo .....	38
2.3.4. Edad del vulcanismo .....	38
2.4. Discusiones y conclusiones.....	41
2.4.1. Basamento Pre-Jurásico .....	41
2.4.1.1. Edad de depositación y correlaciones .....	41
2.4.1.2. Proveniencia.....	42
2.4.1.3. Ambiente geotectónico.....	43
2.4.2. Vulcanismo Jurásico .....	46
2.4.2.1. Evolución del vulcanismo .....	46
2.4.2.2. Relación del vulcanismo con las mineralizaciones.....	46

## Capítulo 3. Características metalogenéticas del extremo noroccidental de la veta Eureka, distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, Argentina

3.1. Introducción .....	49
3.2. Metalogénesis del Macizo del Deseado .....	50
3.3. Características generales de la veta Eureka .....	53
3.4. Eureka West .....	55
3.4.1. Episodios y pulsos mineralizantes .....	55

3.4.2. Geoquímica de Eureka West .....	75
3.4.3. Alteraciones hidrotermales.....	78
3.4.4. Caracterización de los fluidos mineralizantes.....	81
3.4.4.1. Inclusiones Fluidas.....	81
3.4.4.2. Isótopos estables.....	85
3.4.5. Edad de la mineralización .....	89
3.5. Discusiones .....	89
3.5.1. Clasificación de Eureka West .....	89
3.5.2. Origen, evolución y naturaleza de los fluidos hidrotermales.....	92
3.5.3. Distribución de las alteraciones hidrotermales .....	94
3.5.4. Características físico-químicas del episodio supergénico.....	96
3.6. Resumen y conclusiones .....	98

## **Capítulo 4. El sistema epitermal aurífero Marianas-San Marcos, distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, Argentina**

4.1. Introducción .....	101
4.2. El Sistema Marianas-San Marcos .....	102
4.3. Episodios y pulsos mineralizantes .....	104
4.4. Geoquímica de vetas y su distribución.....	130
4.5. Alteraciones hidrotermales.....	132
4.6. Caracterización de los fluidos mineralizantes.....	133
4.6.1. Inclusiones fluidas.....	133
4.6.2. Isótopos estables.....	138
4.7. Edad de la mineralización .....	146
4.8. Discusiones .....	149
4.8.1. Clasificación del sistema Marianas-San Marcos.....	149
4.8.2. Origen, evolución y naturaleza de los fluidos hidrotermales.....	150
4.8.3. Distribución de las alteraciones hidrotermales .....	156
4.8.4. Evidencias de los mecanismos de depositación de los metales .....	157
4.9. Resumen y conclusiones .....	161

## **Capítulo 5. Características generales del ambiente epitermal somero del oeste del distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, Argentina**

5.1. Introducción .....	164
5.2. Brecha de erupción hidrotermal .....	166
5.2.1. Geoquímica de la brecha.....	162
5.3. Alteraciones hidrotermales cercanas a la superficie ( <i>steam heated</i> ).....	174
5.4. Depósitos de <i>hot spring</i> .....	176
5.5. Discusiones .....	168
5.5.1. Naturaleza y mecanismos de erupción hidrotermal .....	178



5.5.2. Alteraciones hidrotermales someras .....	182
5.5.3. Naturaleza de los <i>hot spring</i> .....	183
5.6. Resumen y conclusiones .....	185

## **Capítulo 6. Conclusiones**

6.1. Evolución geológica.....	186
6.2. Modelo metalogénico.....	189

<b>Referencias</b> .....	191
--------------------------	-----

## **Anexos**

# Capítulo 1

## Introducción

### 1.1. Objetivo

Los depósitos epitermales se forman en los niveles someros de sistemas hidrotermales, generalmente encajados en una cubierta de rocas volcánicas coetáneas o antiguas, y/o supra-yaciendo rocas de basamento, y en menor medida en intrusivos subvolcánicos (Simmons et al., 2005). En posiciones cercanas a la superficie estos sistemas presentan características diagnósticas incluyendo: brechas de erupción hidrotermal, depósitos de *hot spring* (sinter y/o travertinos), depósitos piroclásticos y fluvio-lacustres silicificados, mantos de alteración de tipo *steam heated*, *stockworks* y sistemas vetiformes (Nelson & Giles 1985; Hedenquist et al., 2000; Corbett, 2004; Simmons et al., 2005).

La provincia geológica Macizo del Deseado (provincia de Santa Cruz, Patagonia Argentina) que abarca un área de 60.000 Km<sup>2</sup>, se caracteriza por un gran evento volcánico-hidrotermal-geotermal de edad Jurásico Medio a Superior agrupados en su conjunto dentro del Complejo Volcánico Bahía Laura (CVBL). Este vulcanismo forma parte de la provincia silícica ígnea Chon Aike (Pankhurst et al., 1998, 2000; Riley et al., 2001), extendiéndose desde la Patagonia hasta la península Antártica, desarrollada en un ambiente extensional de retroarco difuso, relacionado con la apertura del Océano Atlántico Sur durante el desmembramiento de Gondwana (Richardson & Underhill, 2002). Por su tamaño y sus características geológicas es comparable con otras grandes provincias ígneas silíceas (SLIP) como Sierra Madre Occidental (Méjico), Taupo (Nueva Zelanda) y Whitsunday (Australia). El CVBL está representado por una suite volcánica bimodal que agrupa las formaciones Cerro León y Bajo Pobre (andesitas y sus equivalentes intrusivos), Chon Aike (riolitas) y La Matilde (depósitos volcanoclásticos retrabajados de composiciones riolíticas), con relaciones estratigráficas complejas (e.g. Echeveste et al., 2001; Guido, 2004). El CVBL aloja numerosas manifestaciones y depósitos epitermales de metales preciosos principalmente de tipo sulfuración baja, con menor proporción de sulfuración intermedia y numerosas ocurrencias de depósitos de tipo *hot spring*.

La presente tesis fue llevada a cabo en distrito minero Cerro Negro, ubicado en el noroeste del Macizo del Deseado (Fig. 1.1), a unos 50 km al sureste de la localidad de Perito

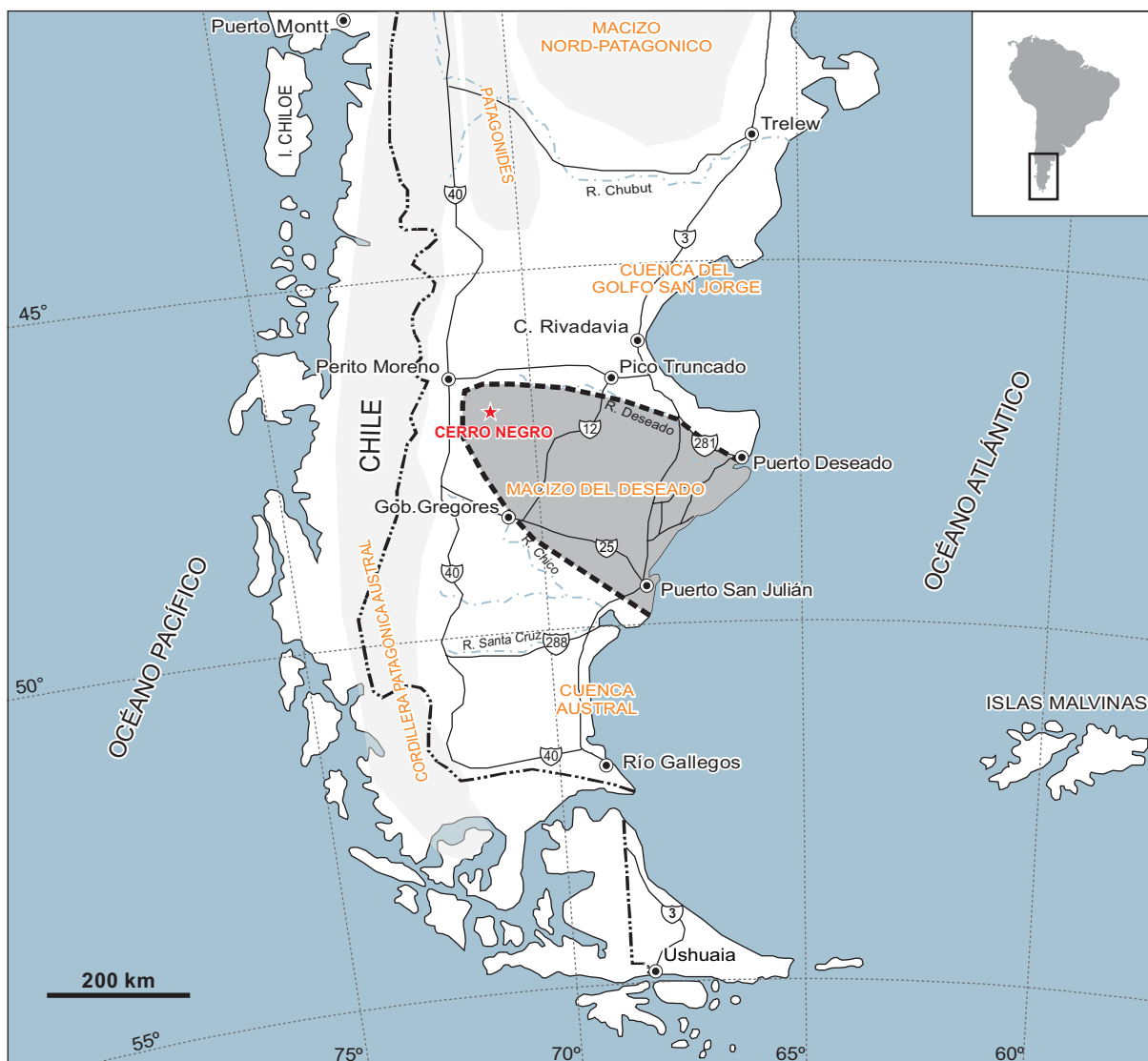
Moreno. Los antecedentes que se conocen de este sector del Macizo del Deseado, son estudios geológicos regionales (escala 1:250.000) correspondientes a la Hoja Geológica 4769-IV El Pluma (Cobos & Panza, 2003), investigaciones geológicas y geoquímicas (de Barrio, 1989; 1993) y a una tesis doctoral que presenta un mapa geológico-metalogénico a escala 1:20.000 de la parte noroccidental del distrito Cerro Negro (López, 2006).

El distrito Cerro Negro comprende un conjunto de mineralizaciones vetiformes epitermales de Au-Ag entre las cuales se destacan la veta Eureka, Vein Zone y Bajo Negro, que junto con nuevos descubrimientos denominados Marianas y San Marcos alcanza un total de 6,7 Moz Au equivalente de reservas calculadas ([www.goldcorp.com](http://www.goldcorp.com)). Todos estos sectores posicionan actualmente a Cerro Negro como el más importante proyecto epitermal de oro y plata de la región y como uno de los más importantes descubrimientos epitermales a nivel mundial.

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar tareas de investigación que conduzcan a la caracterización geológica detallada de los nuevos sectores mineralizados del oeste del distrito Cerro Negro (vetas Mariana Central, Mariana Norte, y San Marcos) y compararlos con la veta Eureka. Estas vetas concentran las mayores reservas de metales preciosos del distrito (Tabla 1.1).

Se propone un estudio integral de todos los episodios y pulsos mineralizantes intervinientes a lo largo, ancho y en profundidad de las vetas de manera de comparar los distintos sectores mineralizados. Se pretende caracterizar en detalle cada episodio mineralizante mediante datos petrográficos, calcográficos, mineralógicos de detalle, geoquímicos, isotópicos y de inclusiones fluidas. Además se evaluará la relación espacial, temporal y genética entre las mineralizaciones y las unidades geológicas presentes en el área mediante determinaciones de la edad de las mineralizaciones y del origen de los metales. Finalmente, se elaborará un modelo de depósito comparándolo con otros sectores del Macizo del Deseado y con ejemplos mundiales.

La presente investigación se realizó bajo el cofinanciamiento de la empresa Oroplata S.A. continuándose por Goldcorp Inc. (desde fines de 2010), actual propietaria del cateo minero donde se encuentran las mineralizaciones estudiadas y el área de tesis.



**Figura 1.1:** Mapa con la ubicación del distrito Cerro Negro en el marco de la Patagonia y sus respectivas provincias geológicas.

**Tabla 1.1:** Cálculo de reservas del distrito Cerro Negro para fines de 2012

	Reservas (M+I)			Recursos (M+I)			Recursos (I)			Total (Reservas + Recursos)		
	Tonelaje (Mt)	Ley (g/t)	Onzas (Moz)	Tonelaje (Mt)	Ley (g/t)	Onzas (Moz)	Tonelaje (Mt)	Ley (g/t)	Onzas (Moz)	Tonelaje (Mt)	Ley (g/t)	Onzas (Moz)
<i>Oro</i>												
Eureka	2,93	13,6	1,284	0,68	6,3	0,137	0,96	7,59	0,235	4,57	11,27	1,656
Bajo Negro	1,83	7,7	0,457	0,04	51,1	0,069	0,94	6,07	0,183	2,81	7,85	0,709
Vein Zone	2,38	4,3	0,331	3,95	1,3	0,17	1,53	1	0,048	7,86	2,17	0,549
Mariana Central	3,62	15,52	1,808	0,04	18,1	0,022	0,17	7,24	0,04	3,83	15,18	1,87
Mariane Norte	4,42	7,45	1,06	0,1	9,35	0,03	0,84	5,46	0,15	5,36	7,2	1,24
San Marcos	3,72	6,65	0,795	0,31	8,51	0,085	0,88	5,97	0,17	4,91	6,65	1,05
<b>Total</b>	<b>18,91</b>	<b>9,43</b>	<b>5,735</b>	<b>5,12</b>	<b>3,12</b>	<b>0,513</b>	<b>5,32</b>	<b>4,81</b>	<b>0,826</b>	<b>29,34</b>	<b>7,5</b>	<b>7,074</b>
<i>Plata</i>												
Eureka	2,93	198	18,6	0,68	101,1	2,204	0,96	79	0,444	4,57	144,6	21,248
Bajo Negro	1,83	21	1,2	0,04	180	0,243	0,94	15,7	0,471	2,81	21,18	1,914
Vein Zone	2,38	9	0,7	3,95	3	0,383	1,53	2,3	0,113	7,86	4,73	1,196
Mariana Central	3,62	109,4	11,268	0,04	143	0,172	0,17	38,8	0,21	3,83	94,6	11,65
Mariane Norte	4,42	73,4	10,436	0,1	84,3	0,274	0,84	59	1,59	5,36	71,37	12,3
San Marcos	3,72	59,9	7,161	0,31	50,2	0,499	0,88	36,7	1,04	4,91	55,11	8,7
<b>Total</b>	<b>18,91</b>	<b>81,2</b>	<b>49,365</b>	<b>5,12</b>	<b>22,9</b>	<b>3,775</b>	<b>5,32</b>	<b>34,34</b>	<b>5,868</b>	<b>29,35</b>	<b>62,53</b>	<b>59,008</b>

**Referencias:** M: medidas; I: indicadas.Datos tomados de [www.goldcorp.com](http://www.goldcorp.com)

## 1.2. Antecedentes de exploración y su descubrimiento

El distrito Cerro Negro agrupa un conjunto de propiedades que ocupan un área aproximada de 26.500 hectáreas, propiedad de la empresa Goldcorp Inc. desde el año 2010. El distrito incluye 6 depósitos epitermales de Au-Ag (Vein Zone, Eureka, Bajo Negro, Mariana Central, Mariana Norte y San Marcos) desarrollados por casi dos décadas de actividad exploratoria.

La historia exploratoria del distrito se remonta al año 1995, cuando la empresa Pegasus Gold International Inc. descubre la veta Eureka como resultado de tareas exploratorias aéreas. Luego la empresa Newcrest S.A adquiere las concesiones correspondientes al sector oeste del distrito (vetas Eureka y Marianas-San Marcos), mientras que, la empresa MIM Argentina Exploraciones (MIM) establece concesiones en la zona este del distrito (Vein Zone y alrededores).

Durante los años 1996-1997, estas tres empresas se unen mediante un *jointventure*, y realizan algunas perforaciones en la veta Eureka y en Marianas. A fines de 1997, Pegasus Gold International Inc. se retira, por lo que MIM Argentina Exploraciones y Newcrest S.A. (70:30) adquieren el total del distrito Cerro Negro.

En los años 1998-1999, MIM Argentina Exploraciones lleva a cabo tareas exploratorias en el sector este del distrito (Vein Zone) que incluyeron magnetometría aérea y terrestre, geoquímica de suelos y rocas, y un mapeo estructural.

En el año 1999, Newcrest S.A. decide alejarse del *jointventure*, por lo que MIM continúa la exploración aunque de manera menos intensa hasta el año 2001. En este año, realiza un *jointventure* con la empresa Oroplata Ltd., explorando la veta Eureka y la zona de Vein Zone (Shatwell et. al., 2011).

Durante el año 2003, la empresa australiana Andean Resources Ltd. adquiere el 100% de la propiedad. Entre 2004 y 2005, Andean Resources Ltd. intensifica la exploración en Vein Zone, con tareas de superficie y nuevas perforaciones. Durante la revisión del muestreo de suelos y de rocas realizado por la empresa MIM, se produce el hallazgo de un pequeño afloramiento de veta de cuarzo con valores de hasta 3,32 g/t de Au correspondiente al sector Bajo Negro (próximo a Vein Zone), donde se realizaron nuevas trincheras y perforaciones, relegando las tareas de exploración de la veta Eureka.

Durante el año 2006, en función de la buena respuesta que dieron los estudios geofísicos en cuanto a resistividad en Vein Zone, se aplicaron estas técnicas sobre asomos

occidentales pobremente expuestos de la veta Eureka (Eureka West). Estos estudios revelaron importantes anomalías de resistividad en subsuelo, sumado a anomalías geoquímicas en muestras de *floats* y afloramientos (e.g. 14 g/t Au, Shatwell et al., 2011). En función de estos resultados se proyectó un programa de perforaciones profundas, considerando que los pozos realizados previamente habían sido muy someros.

Durante el año 2007, fueron realizados los primeros pozos de diamantina en Eureka West que arrojaron resultados alentadores con múltiples intersecciones mineralizadas de por ejemplo 4 m con 35,9 g/t Au y 115 g/t Ag y 10 m con 28,7 g/t Au y 356 g/t Ag (Shatwell et al., 2011). Este descubrimiento llevó a que durante este mismo año, se realizara una campaña de perforaciones para confirmar la existencia de un recurso. Al mismo tiempo, Richard Sillitoe (geólogo consultor) propone continuar la exploración con perforaciones debajo de la cubierta postmineral hacia el extremo occidental. Estas nuevas perforaciones encontraron mineralización de alta ley a partir de los 227 m de profundidad (e.g. 51.8 m con 25.3 g/t Au y 379 g/t Ag), luego de atravesar toda la secuencia postmineral (Shatwell et al., 2011).

Desde entonces y hasta mediados de 2009, la exploración se focalizó en la veta Eureka, principalmente en el depósito conocido como Eureka West, y se determinó a través de perforaciones que la mineralización continúa hacia el NO más allá de los 400 m de profundidad por debajo de la cubierta postmineral, por lo que se continuó la exploración por perforaciones desde locaciones subterráneas. Para este entonces, Eureka West contaba con recursos por casi 1.3 Moz de Au equivalente (Shatwell et al., 2011)

A principios del año 2008, se realizaron en Bajo Negro numerosas perforaciones que definieron 1,5 km de veta y mineralizaciones hasta al menos unos 350 m de profundidad, con recursos medidos más indicados de 470000 Oz (Shatwell et al., 2011).

En el año 2009, en función de los elevados valores de oro y plata en las vetas pobremente expuestas, en algunos *floats* y en una perforación de San Marcos, que habían sido obtenidos por Newcrest S.A., Pegasus Gold International Inc. y MIM Exploraciones Argentinas; Andean Resources Ltd. decide concentrar la exploración en este sector, mediante perforaciones definiendo un clavo mineralizado en la estructura de rumbo este-oeste. Durante este mismo año, se llevó a cabo un mapeo detallado de *floats* de cuarzo (algunos con texturas bandeadas) en la zona de Marianas que habían sido reportados por Pegasus Gold International Inc. Los resultados de 50 muestras arrojaron valores promedio de 7 g/t Au y 41g/t de Ag, por lo que se realizaron algunas perforaciones de tipo *fence* de orientación

noreste-suroeste, descubriendo las mineralizaciones de Mariana Norte y Mariana Central, continuando su exploración hasta la actualidad.

Al principio del año 2010, comenzó la construcción del acceso subterráneo a Eureka West. A mediados de ese año, fue publicado un estudio de factibilidad positivo que incluyó a Eureka West, Bajo Negro y Vein Zone, con recursos por 2,54 Moz de Au y 23,5 Moz de Ag (Shatwell et al., 2011). A fines de 2010, Goldcorp Inc. adquiere el total de las acciones de la empresa Andean Resources por 3.6 billones de dólares. Durante principios de 2011 la empresa publica un total de recursos por 2,7 Moz para las vetas Mariana Central, Mariana Norte y San Marcos, totalizando alrededor de 5 Moz de Au para el distrito. Desde entonces y hasta la actualidad Goldcorp Inc. ha mejorado significativamente la infraestructura e intensificado las tareas de exploración en todas las áreas, continuando el acceso subterráneo a Eureka West y construyendo dos nuevos accesos para Mariana Norte y Mariana Central. Además, durante este período se inició la construcción de la planta de procesamiento de mineral en el área de Vein Zone.

A finales de 2012, Goldcorp Inc. reevalúa y actualiza el cálculo de reservas a 6,7 Moz de Au, posicionando a Cerro Negro como uno de los depósitos más importantes a nivel mundial (Tabla 1.1). Desde entonces, la empresa estaría en condiciones de comenzar su producción estimado para mediados de 2014.

### **1.3. Plan de Tesis**

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados en la sección anterior, se diagramó un plan de trabajo dividido en tres etapas de trabajo consecutivas.

La primer etapa se enfocó en los trabajos de campo, para la cual previamente se realizó una compilación, procesamiento y análisis de datos éditos e inéditos del Distrito Cerro Negro (datos de la empresa minera Oroplata Ltd.). Posteriormente se confeccionó una grilla representativa de pozos ubicados en diferentes sectores y profundidades de las mineralizaciones (Eureka West, San Marcos y las dos vetas Marianas). Para esta selección fueron consideradas las variaciones de ley de Au y Ag y de espesor de veta en las secciones longitudinales. Con esta información se realizó una selección de los pozos a estudiar, y posteriormente el estudio detallado (mapeo y muestreo de los pulsos de mineralización y de las rocas de cajas asociadas) de los testigos corona de perforaciones.



La segunda etapa se enfocó en trabajos de gabinete. Las muestras tomadas fueron procesadas para los diferentes estudios: petrográficos, mineralógicos, geoquímicos, geocronológicos, isotópicos y de caracterización de fluidos, y con posterioridad se llevaron a cabo las siguientes tareas: estudios mineralógicos de minerales de mena y de ganga (petrográficos, calcográficos, Rayos X, microscopio electrónico y microsonda) de los diferentes episodios y pulsos mineralizantes; reconstrucción de los episodios y pulsos mineralizantes dentro de las estructuras; análisis de la distribución de los episodios y pulsos en una sección longitudinal; análisis geoquímicos de metales; geocronología (Ar-Ar en adularia) de la mineralización; compilación de datos de alteraciones hidrotermales; estudios de inclusiones fluidas en minerales de ganga (cuarzo, adularia) y por último el análisis de isótopos estables (O, H, S) en los principales episodios mineralizantes.

Por último, la tercer etapa, consistió en el procesamiento de los datos y de la información obtenida en las etapas anteriores, de manera tal de proponer un modelo metalogénico del área, comparándolo con diferentes sistemas epitermales-geotermiales.

#### **1.4. Esquema de la tesis**

Los resultados de esta investigación han sido organizados en 6 capítulos y un anexo, en donde se tratan separadamente los distintos estudios geológico-metalogénicos realizados en el área. El primero corresponde a la introducción.

El capítulo 2 comprende una revisión de los antecedentes de las unidades volcánicas y subvolcánicas del área de trabajo, con dos nuevos aportes realizados a lo largo de la presente investigación: 1) litogeoquímica y las relaciones estratigráficas de las unidades volcánicas, con especial énfasis en las unidades lávicas o subvolcánicas (posible fuente de aporte de metales al sistema hidrotermal), y 2) petrografía, litogeoquímica, geocronología e interpretación genética de un nuevo descubrimiento de rocas de basamento metamórfico del Macizo del Deseado, el más septentrional de la provincia geológica.

En los capítulos 3 y 4 se detallan las observaciones y resultados obtenidos para los sistemas de vetas Eureka West y el sistema Marianas-San Marcos, a fin de determinar las principales características de los fluidos mineralizantes y los procesos que tuvieron lugar para la formación de las vetas. Para ello se discute analizan en detalle el esquema paragenético de las vetas, la mineralogía de la mena y la ganga, las alteraciones hidrotermales y los análisis de

inclusiones fluidas e isótopos estables. Además, se presentan resultados de edades de mineralización de manera vincular los sistemas epitermales con el vulcanismo del área.

El capítulo 5 aborda el estudio de las principales características del ambiente epitermal somero existente en Cerro Negro al momento de la formación de las vetas; siendo un ejemplo de ambiente geotermal fósil de grandes dimensiones, que se puede comparar con ambientes geotermales activos como Yellowstone (Estados Unidos) y la zona del Taupo (Nueva Zelanda). Ese ambiente geotermal caracteriza al modelo de depósito tipo Cerro Negro.

Por último, en el capítulo 6 se define el modelo para el área de estudio y se lo compara con otros ejemplos a nivel regional y mundial.

## **Capítulo 2:**

### **Geología del oeste del distrito auroargentífero Cerro Negro, Macizo del Deseado, Argentina.**

#### **2.1. Introducción**

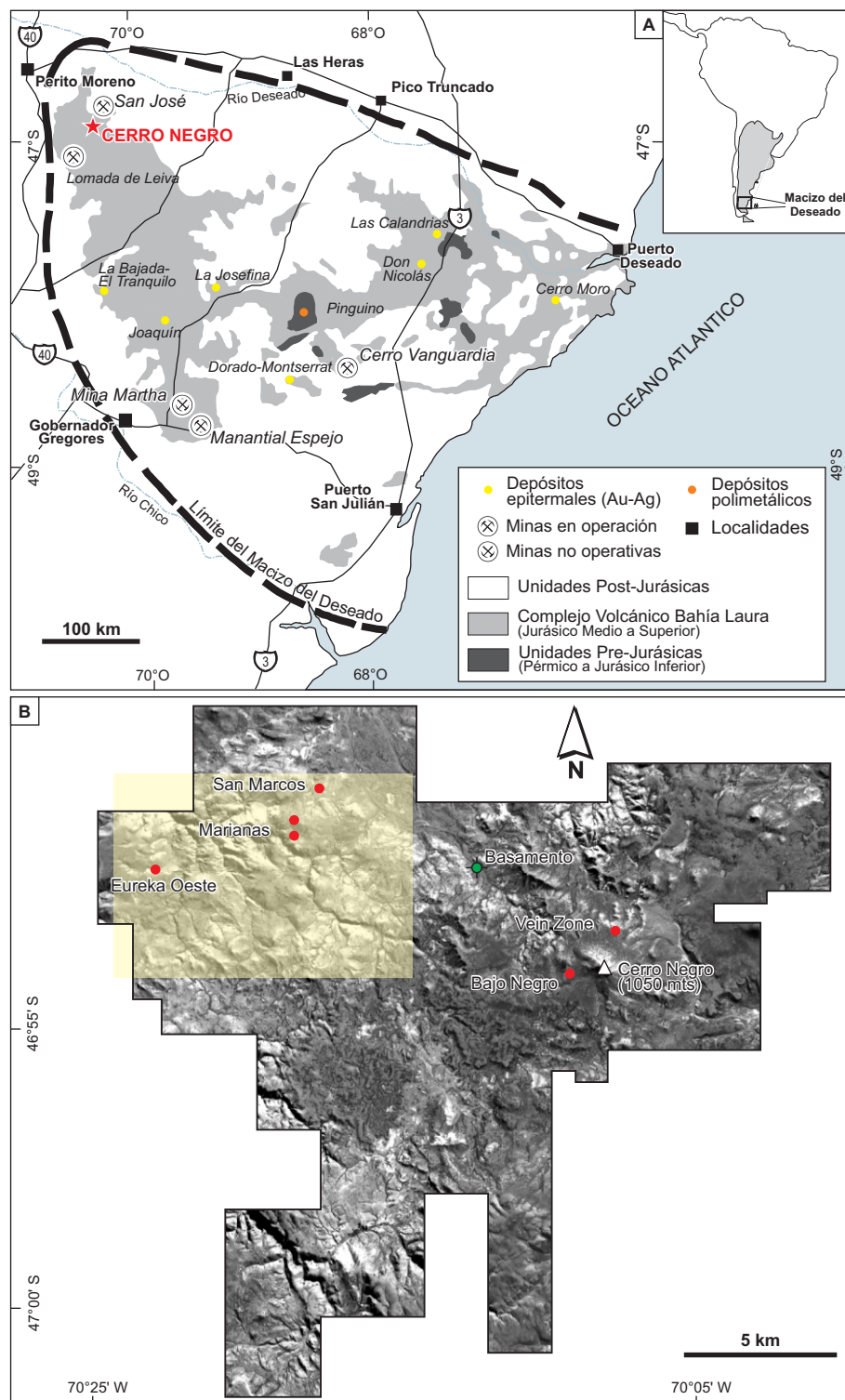
El distrito Cerro Negro ocupa el sector noroccidental del Macizo del Deseado, y es actualmente uno de los descubrimientos de depósitos epitermales más importantes de la zona e incluso a nivel mundial alojado en vulcanitas jurásicas (Fig. 2.1 A, B). A nivel regional, los relevamientos geológicos de esta zona corresponden a la Hoja Geológica 4769-IV El Pluma (Cobos & Panza, 2003) y a investigaciones geológicas-geoquímicas (de Barrio, 1989, 1993), mientras que a nivel local los primeros estudios geológicos y metalogénicos de detalle del área fueron llevados a cabo por López (2006), trabajos que se suman a los realizados por diferentes empresas mineras durante su exploración y desarrollo (ver Capítulo 1).

El presente capítulo aborda el contexto geológico del oeste del distrito (sector donde se encuentran las principales mineralizaciones: vetas Eureka y Marianas-San Marcos), con el aporte de la descripción y caracterización del hallazgo en perforaciones del basamento metamórfico no aflorante en el área. Por otra parte, se resumen las principales unidades volcánicas jurásicas vinculadas a estas mineralizaciones.

#### **2.2. Geología regional del Macizo del Deseado**

El basamento está representado por aislados asomos de poca extensión areal, localizados al este y centro-oeste de esta provincia geológica. En el sector este, las rocas están compuestas por un complejo ígneo-metamórfico agrupado bajo la denominación de Complejo Río Deseado, de edad Precámbrica tardía a Carbonífera (Pankhurst et al., 2003; Giacosa et al., 2002). En el área centro-oeste, el basamento está caracterizado por rocas de bajo grado metamórfico, representadas por la Formación La Modesta, de edad Silúrica (Moreira et al., 2005).

Las rocas del basamento están cubiertas en discordancia por una secuencia sedimentaria continental de edad Pérmica (Formaciones La Golondrina y La Juanita) a Triásicas (Grupo El Tranquilo). La cubierta sedimentaria fue depositada en grabens de



**Figura 2.1:** A) Mapa geológico del Macizo del Deseado, con la ubicación del distrito Cerro Negro. B) Imagen Spot del distrito Cerro Negro con la ubicación de los principales depósitos de Au-Ag, el área del mapa de la figura 2.2 (recuadro amarillo) y la ubicación de la zona de las perforaciones que interceptaron basamento metamórfico.

orientación NNW formados durante el inicio del desmembramiento de Gondwana (Homovic & Constantini, 2001).

El inicio de la actividad ígnea ocurre durante el Jurásico inferior con las dioritas y granitos del Complejo La Leona, que intruyen a las rocas sedimentarias Permo-triásicas, como por ejemplo en la porción central del Macizo del Deseado (De Giusto et al., 1980). Estas rocas están cubiertas y en ocasiones intercaladas con escasos basaltos de la Formación El Piche (Jovic, 2010). Las rocas se corresponden con una serie monzonítica calcoalcalina de alto potasio interpretada como una cordillera interior que precede al extendido vulcanismo de edad Jurásica media a superior (Rapela & Pankhurst, 1996).

Durante el Jurásico medio a superior, un extenso evento volcánico de naturaleza bimodal tuvo lugar en la Patagonia (incluyendo al Macizo del Deseado) extendiéndose hasta la Península Antártica, que originó la denominada Provincia Silícica Chon Aike (Pankhurst et al., 1998, 2000), comparable en dimensiones con otras grandes provincias ígneas como la Sierra Madre en México (Ruiz, 2012). Este evento tuvo lugar bajo una tectónica extensional en un ambiente de retroarco (*back-arc*) difuso, relacionado con los primeros estadios del desmembramiento del sudoeste de Gondwana y la apertura del océano atlántico (Pankhurst et al., 2000; Riley et al., 2001; Richardson & Underhill, 2002; Ramos, 2002). Esta extensión ha sido simultánea con la erupción de las vulcanitas jurásicas y finaliza junto con este evento o un poco más tarde (Echavarría et al., 2005). Las edades de U-Pb en circones prueban que este vulcanismo ocurrió durante ~30 Ma (178-151 Ma), con un período de actividad pico de ~ 10 Ma (Pankhurst et al., 2000).

En el Macizo del Deseado, este evento está representado por una suite volcánica conocida como Complejo Volcánico Bahía Laura (CVBL; e.g. Feruglio, 1949; Guido et al., 2006; Sruoga et al., 2008). CVBL incluye las Formaciones Bajo Pobre, Cerro León, Chon Aike y La Matilde caracterizado por las intrincadas relaciones estratigráficas que tienen lugar entre las distintas litologías (Echeveste et al., 2001; Guido, 2004; Ruiz et al., 2008).

La Formación Bajo Pobre está compuesta por rocas volcánicas calcoalcalinas de composición intermedia a básica y rocas volcanoclásticas mayormente de composición andesítica (Panza & Haller, 2002). La Formación Cerro León representa los equivalentes subvolcánicos de las rocas de la Formación Bajo Pobre (de Barrio et al., 1999; Jovic et al., 2008). La Formación Chon Aike es la que más se destaca en el Macizo del Deseado por su volumen y distribución areal, estando principalmente compuesta por ignimbritas silíceas (90 % de los afloramientos), con subordinados depósitos volcanoclásticos retrabajados y tobas de

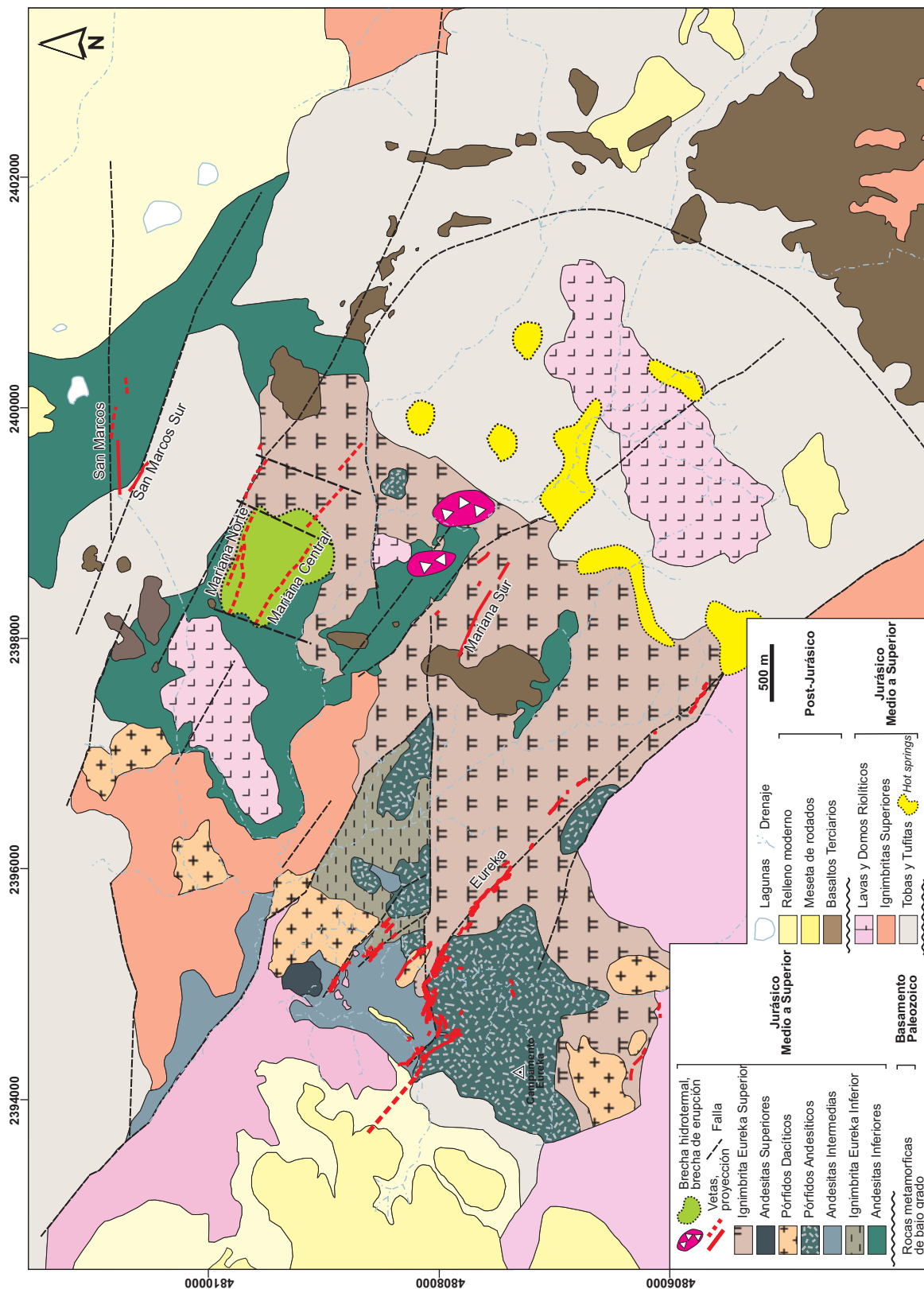
caída asociadas, que se intercalan con lavas, diques y domos riolíticos (Pankhurst et al., 1998; 2000; Riley et al., 2001; Sharpe et al., 2002; Panza & Haller, 2002). Hacia el techo de la secuencia Jurásica dominan las rocas de la Formación La Matilde representadas por rocas volcanoclásticas retrabajadas y material sedimentario, formado en ambientes fluviales y lacustres de baja energía con menores intercalaciones de tobas de caída e ignimbritas (de Barrio et al., 1999). Durante un intervalo de ~30 Ma desarrollado en el Jurásico medio a superior, la extensión regional, el magmatismo y el alto gradiente térmico que originaron al CVBL, también dieron origen a la actividad hidrotermal que dio lugar al desarrollo de depósitos epitermales de Au-Ag y a abundantes ocurrencias de tipo *hot spring* (Guido & Schalamuk, 2003; Guido & Campbell, 2011).

La secuencia estratigráfica se completa con rocas pos-Jurásicas que cubren de forma discordante la secuencia Jurásica y corresponden a rocas sedimentarias continentales (Cretácicas), rocas de transgresión marina (Terciaria), plateau basálticos (Cretácicos a Cuaternarios) y dispersos depósitos inconsolidados actuales de till fluvio-glacial, coluvio y aluvio.

### **2.3. Geología del distrito Cerro Negro**

La figura 2.2 muestra un mapa a escala 1:40.000 de la zona de estudio, basado en los estudios previos, junto con nuevas observaciones realizadas en este trabajo, utilizando tanto información de superficie como en profundidad (perforaciones), que se han realizado a partir de los datos obtenidos durante la exploración del depósito.

En el área estudiada la geología está compuesta por una secuencia volcánica jurásica representada por el CVBL, que apoya sobre un basamento metamórfico no aflorante de edad Paleozoico superior, que fue interceptado en profundidad por perforaciones ubicadas unos kilómetros al este del área de la Figura 2.3 (Permuy Vidal et al, en prensa). El extremo oeste del distrito ocupa aproximadamente un tercio de la propiedad (Fig. 2.1B), con predominio de rocas volcánicas efusivas e intrusivas, y en menor medida rocas piroclásticas de composiciones andesítica-dacítica y riolítica. Asociados a estas rocas se alojan los principales depósitos epitermales de metales preciosos del distrito (Eureka, Marianas y San Marcos, ver capítulos 3 y 4).



**Figura 2.2:** Mapa Geológico del oeste del distrito Cerro Negro.

Las unidades jurásicas se encuentran parcialmente cubiertas por depósitos post-Jurásicos integrados por los basaltos de la Formación Cerro del Doce (Eoceno) y por depósitos glaci-fluviales (Pleistoceno-Holoceno).

### **2.3.1. Basamento Pre-Jurásico**

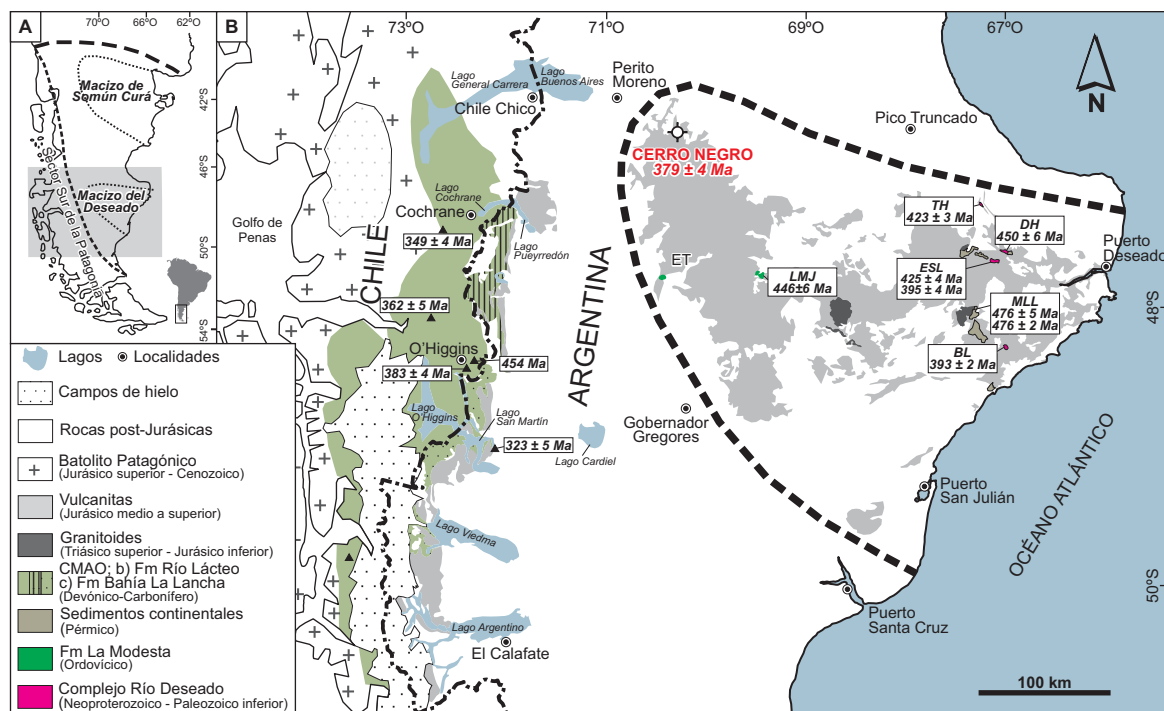
La porción sur de la Patagonia extra-Andina comprende la provincia geológica del Macizo del Deseado, donde los asomos de basamento son pequeños y escasos, ocupan menos del 0,1% del total del área del Macizo (~50 km<sup>2</sup>) y están mayormente cubiertos por una extensa cubierta volcánica Jurásica (Fig. 2.3).

Durante las tareas de exploración minera realizadas en el área de estudio, algunas perforaciones (Fig. 2.4A; 70°15'W, 46°52'S) interceptaron rocas de basamento metamórfico de bajo grado por debajo de 50 a 150 metros de la secuencia volcánica Jurásica (Fig. 2.4B). Debido a la escasa información de este tipo de rocas en la zona, se realizó una caracterización geológica y geoquímica junto con una datación U-Pb SHRIMP de los zircones detríticos. Los resultados obtenidos se compararon con los datos de los basamentos de la región extra-Andina y Andina de la Patagonia de manera de interpretar la evolución geológica pre-mesozoica de la región.

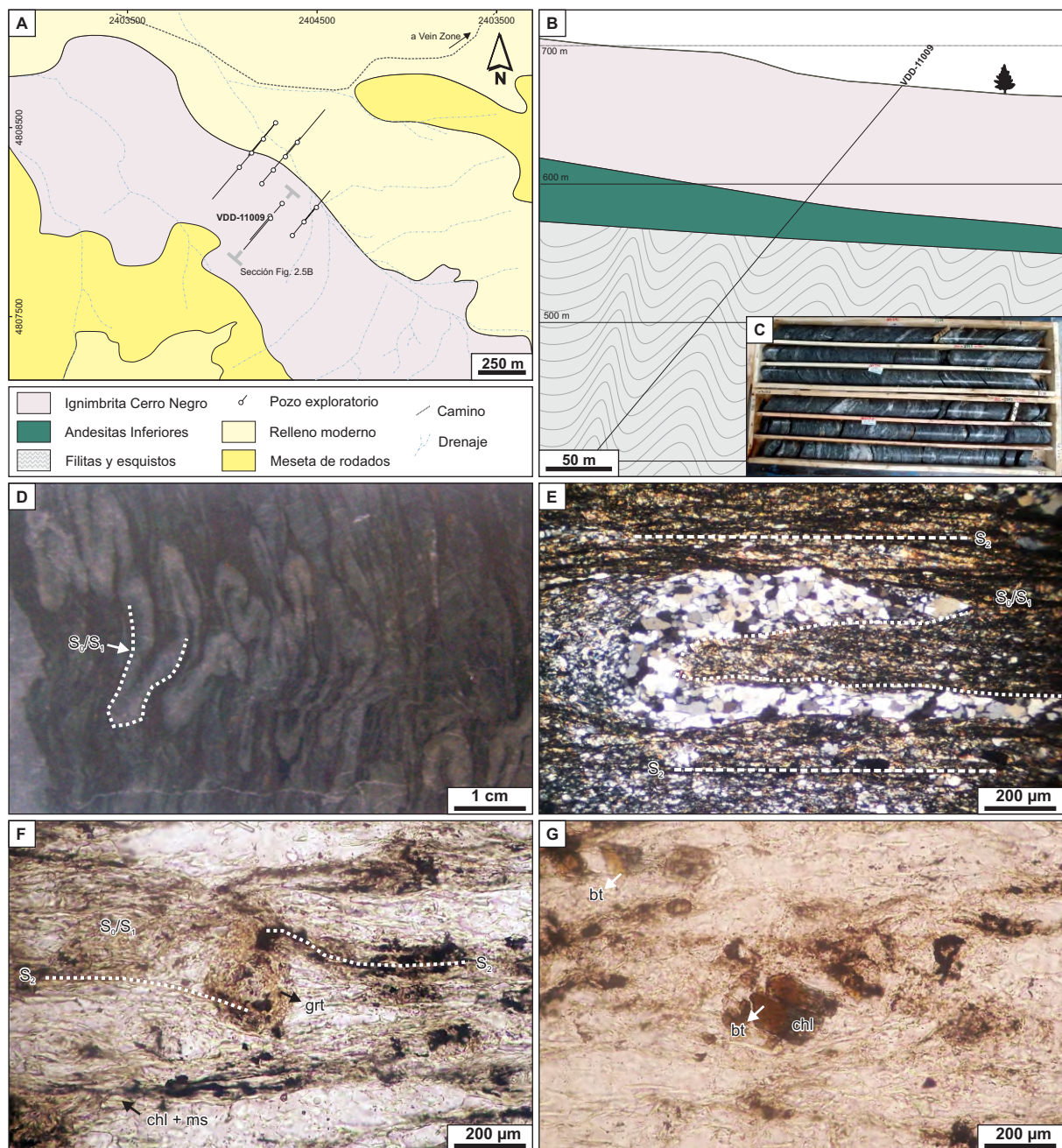
En la porción oriental del Macizo del Deseado, las rocas del basamento han sido agrupadas como Complejo Río Deseado, y en porción occidental como Formación La Modesta (Fig. 2.3). Los datos geocronológicos conocidos hasta el momento son escasos, con edades U-Pb SHRIMP en circones detríticos que van desde los  $476 \pm 5$  Ma hasta los  $393 \pm 2$  Ma (Fig. 2.3, Loske et al., 1999; Pankhurst et al., 2001, 2003; Guido et al., 2005; Moreira et al., 2013).

En la porción septentrional de los Andes chilenos y argentinos, el basamento cenozoico está compuesto por metasedimentitas del Paleozoico tardío al Mesozoico temprano que corresponden al Complejo Metamórfico Andino Oriental (CMAO) y sus unidades equivalentes como las Formaciones Río Lácteo y Bahía La Lancha, entre otras (Fig. 2.3; Hervé et al., 2000). Las edades U-Pb SHRIMP conocidas hasta el momento van desde los 454 Ma hasta  $323 \pm 5$  Ma (Fig. 2.3; Faúndez et al., 2002; Hervé et al., 2003; Augustsson et al., 2006; Augustsson & Bahlburg, 2008).





**Figura 2.3:** A) Ubicación de la Patagonia dentro de Sudamérica con la posición del Macizo del Deseado. B) Mapa geológico simplificado de la Patagonia en el sector sur (latitudes 46°S a 51°S) con la ubicación del distrito Cerro Negro y los afloramientos de rocas de basamento con sus edades correspondientes en el área, modificado de Moreira et al., (2013). Las edades fueron tomadas de este estudio, Loske et al. (1999), Pankhurst et al. (2001), Faúndez et al. (2002) Guido et al. (2005), Hervé et al. (2003), Augustsson et al. (2006), Augustsson & Bahlburg (2008), Moreira et al. (2013). **Referencias:** BL: Bahía Laura, DH: Dos Hermanas, ESL: El Sacrificio-El Laurel, ET: El Tranquilo-La Bajada, LMJ: La Modesta-La Josefina, MLL: Mina La Leona, TH: Tres Hermanas.



**Figura 2.4:** **A)** Mapa geológico del área correspondiente a las perforaciones que interceptaron basamento metamórfico debajo de la cubierta Jurásica (ver ubicación en Fig. 2.1B). **B)** Perfil interpretado con el pozo VDD-11009 donde se extrajo la muestra para datación U-Pb SHRIMP. **C)** Rocas de basamento metamórfico en testigos de perforación del pozo VDD-11009. **D)** Esquistos verdes oscuros en muestra de mano con foliación  $S_0$  plegada compuesta por bandas ricas en cuarzo. **E)** Clivaje de crenulación de  $S_0/S_1$  en relación con la foliación  $S_2$  anastomosada, MLT (+). **F)** Textura porfiroblástica definida por granates con inclusiones curvadas, MLT (/). **G)** Textura porfiroblástica compuesta por biotitas con clorita retrógrada en los bordes, MLT (/). **Referencias:** bt: biotita; chl: clorita; grt: granate; ms: muscovita. MLT: microfotografía con luz transmitida (/) nicols paralelos, (+) nicols cruzados.

#### 2.3.1.1. Litología y estructura

El basamento se caracteriza por una secuencia homogénea de esquistos de color gris a gris verdosos (Fig. 2.4 B, C). En muestra de mano los esquistos preservan la estratificación sedimentaria relíctica ( $S_0$ ) dada por la intercalación de paquetes silicoclásticos de diferente color y granulometría (Fig. 2.4D). Además, registran una foliación metamórfica  $S_1$  paralela a sub-paralela respecto del  $S_0$ , caracterizada por pliegues armónicos apretados de escala centimétrica (Fig. 2.4D).

Los esquistos están compuestos por cuarzo, muscovita y clorita junto con biotita y granate, y cantidades variables de feldespato potásico, plagioclasas, carbonatos y epidoto/zoisita. Como minerales accesorios se presentan apatita y circón. Además llevan vetillas de cuarzo concordantes con la esquistosidad (Fig. 2.4 D, E). Al microscopio los esquistos están caracterizados por una textura porfiroblástica definida por cristales de euhedrales a subhedrales de granate, feldespato potásico y plagioclasas con abundantes inclusiones dispuestas al azar (Fig. 2.4 F, G).

La matriz posee una textura lepidoblástica a granolepidoblástica con dos fábricas superpuestas: una esquistosidad  $S_1$  penetrativa compuesta por muscovita + clorita + cuarzo y cristales aislados de biotita y una foliación de plano axial  $S_2$  que produce clivaje de crenulación acompañado de blastesis de biotita con algo de clorita retrógrada en sus bordes (Fig. 2.4G). El cuarzo presenta extinción ondulosa con textura granoblástica. Los cristales detríticos de feldespato potásico y plagioclasa tienen evidencias de deformación frágil a frágil-dúctil como textura intergranular formada por disolución y sombras de presión por re-precipitación.

Se interpreta al protolito como una secuencia sedimentaria pelítica a psamo-pelítica de origen marino. La asociación mineralógica indica un bajo grado metamórfico (biotita-granate) en facies esquistos verdes.

#### 2.3.1.2. Geoquímica

Una muestra de la secuencia homogénea de esquistos fue seleccionada para un análisis geoquímico. Para esto se realizó un estudio de roca total por fluorescencia de Rayos X y de elementos traza por ICP-MS, en los laboratorios de ALS (Mendoza, Argentina, ver ANEXO A).

Los elementos mayoritarios arrojaron los siguientes resultados:  $\text{SiO}_2 = 62,8$  % en peso;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = 16,2$  % en peso;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 6,79$  % en peso,  $\text{MgO} = 2,27$  % en peso;  $\text{CaO} = 1,30$  % en peso;  $\text{Na}_2\text{O} = 1,96$  % en peso;  $\text{K}_2\text{O} = 3,01$  % en peso;  $\text{TiO}_2 = 0,76$  % en peso;  $\text{P}_2\text{O}_5 = 0,17$  %

en peso; MnO = 0,08 % en peso; Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 0,01 % en peso. Los elementos trazas expresados en ppm revelaron los siguientes valores: Ba = 623; Sc = 18; Co = 17; Cs = 8,93; Ga = 21,80; Hf = 5,10; Nb = 13,90; Rb = 144; Sr = 71,3; Ta = 1,10; Th = 13,0; Tl = 0,80; U = 3,92; V = 162; Zr = 166; Y = 28,8; La = 37,9; Ce = 77,4; Pr = 8,93; Nd = 33,4; Sm = 6,88; Eu = 1,38; Gd = 6,99; Tb = 1,06; Dy = 5,81; Ho = 1,17; Er = 3,29; Tm = 0,48; Yb = 3,12; Lu = 0,48.

Estos resultados fueron ploteados en diagramas de discriminación según proveniencia, reciclado y ambiente tectónico (Bhatia & Crook, 1986; Roser & Korsch, 1988; McLennan et al., 1993), junto a los datos existentes de las rocas de la Formación La Modesta y de las unidades ubicadas hacia el este correspondientes al CMAO (Fig. 2.5; Augustsson & Bahlburg 2008; Moreira et al., 2013).

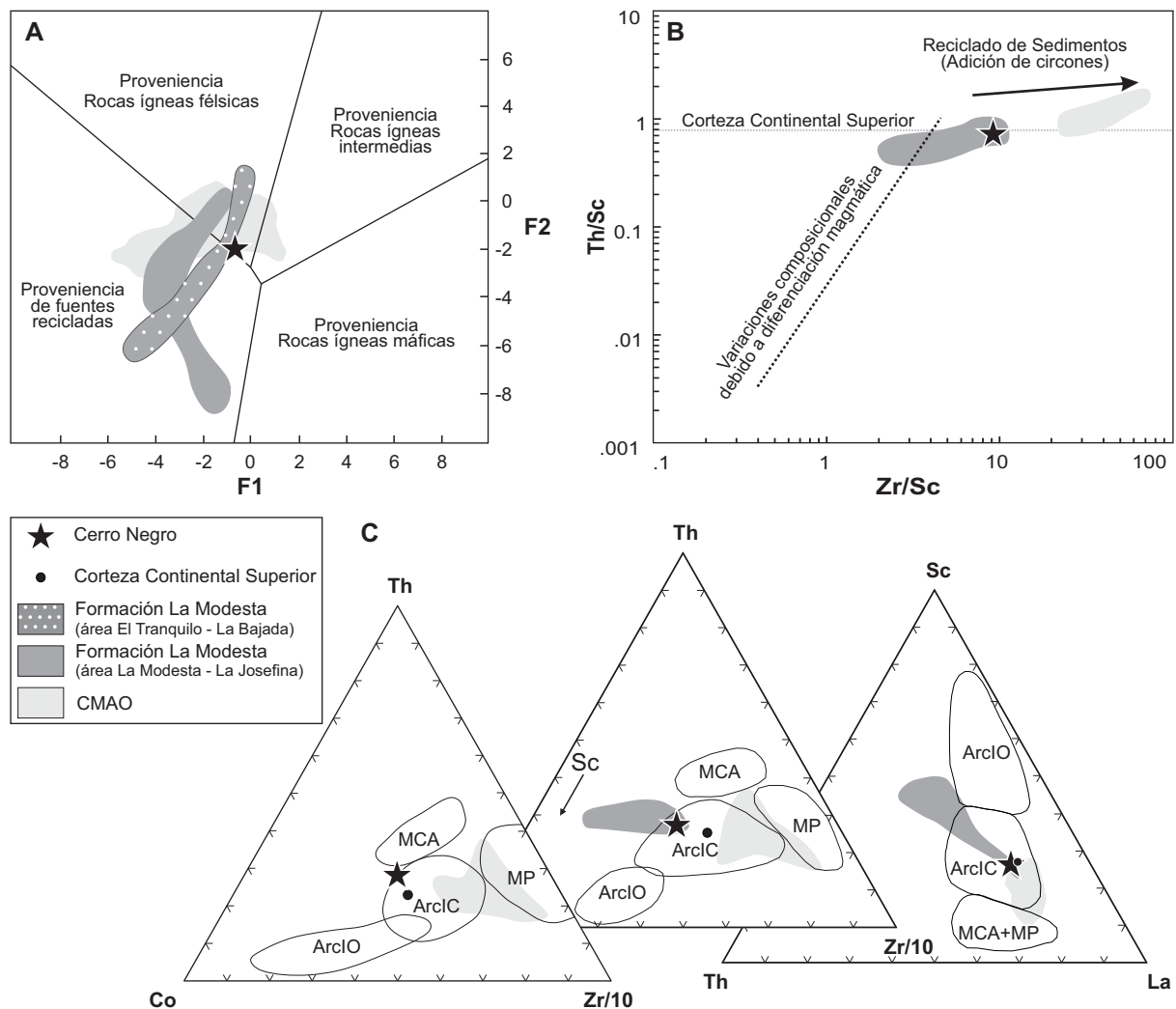
### 2.3.1.3. Geocronología

#### *Metodología*

Una muestra representativa de las metamorfitas fue seleccionada para una determinación geocronológica mediante el método U-Pb SHRIMP (*Sensitive High Resolution Ion Microscope*) en circones detríticos, en el *Research School of Earth Sciences*, Universidad Nacional de Australia (Canberra, Australia).

Los circones fueron separados mediante métodos de molienda, lavado, líquidos pesados y procedimientos paramagnéticos (Gehrels, 2000). El concentrado de minerales pesados rico en circones fue vertido en una cinta bifaz, montado en resina epoxy conjuntamente con chips de circones de referencia (FC1 Duluth Gabbro), se los cortó a la mitad y luego fueron pulidos. Posteriormente se tomaron imágenes de microscopio de luz reflejada y transmitida de todos los circones. Además se tomaron imágenes de catodoluminiscencia (CL) mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) de todos los circones. Las imágenes de CL se utilizan para analizar la estructura interna de los circones y para asegurar que el punto de toma del SHRIMP de unos ~20-30 μm, fuese realizado en un componente de edad única (comúnmente el más joven). Fueron preferencialmente analizados los bordes de los cristales, para datar el último estadio de crecimiento de cada circón. Cada análisis consiste en 4 escaneos en el rango de masas, con un FC1 como circón de referencia analizado para cada 5 análisis, siguiendo el método analítico que utiliza Williams (1998), y las referencias allí citadas.

Los datos fueron reducidos utilizando SQUID Excel Macro de Ludwig (2001). La relación U/Pb fue normalizada relativamente al valor de 0,01859 para el circón de referencia FC1, equivalente a una de edad de 1099 (ver Paces & Miller, 1993). Los errores para cada



**Figura 2.5:** Diagramas geoquímicos del basamento de Cerro Negro comparado con los metasedimentos de la porción sur de Patagonia. **A)** Diagrama discriminante por proveniencia usando elementos mayoritarios (modificado de Roser & Korsch, 1988).  $D1 = 1,773TiO_2 + 0,607Al_2O_3 + 0,76Fe_2O_3T - 1,5MgO + 0,616CaO + 0,509Na_2O - 1,224K_2O - 9,09$ ;  $D2 = 0,445TiO_2 + 0,07Al_2O_3 - 0,25Fe_2O_3T - 1,142MgO + 0,438CaO + 1,475Na_2O - 6,861$ . **B)** Diagrama de discriminación según relaciones Th/Sc vs. Zr/Sc (modificado de McLennan et al., 1993). **C)** Discriminación de ambientes tectónicos de grauvacas según elementos traza de Bhatia & Crook (1986). **Referencias:** MCA: margen continental activo; ArcIC: arco de isla continental, ArcIO: arco de isla oceánico, MP: margen pasivo. Datos del CMAO según Augustsson & Bahlburg (2008), datos de la Formación La Modesta según Moreira et al. (2013). Nota: Datos de la corteza continental superior de acuerdo a Rudnick & Gao (2003).

análisis individual (relaciones y edades) son expresados a un nivel de un sigma. La edad  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  fue utilizada para circones mayores a 800 Ma, debido a la baja variabilidad de la relación  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  en el rango de edades fanerozoicas, las edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  son generalmente más usadas para circones jóvenes. Las edades  $^{207}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  fueron corregidas por Pb usando las medidas de la relación  $^{204}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  de manera normal, mientras que las edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fueron corregidas basadas en  $^{207}\text{Pb}$  tal como lo sugiere Williams (1998). Los diagramas de Tera & Wasserburg (1972) y los histogramas de densidades y los cálculos de edad media  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  fueron llevados a cabo utilizando ISOPLOT/EX (Ludwig, 2003).

## *Resultados*

### *Edades U-Pb SHRIMP de los circones detríticos*

Las edades U-Pb fueron determinadas sobre setenta circones detríticos (Tabla 2.1). Las imágenes de CL demuestran que la mayoría de los granos de circones analizados tienen formas euhedrales a subhedrales, con tamaños que van desde 50 a 150  $\mu\text{m}$  y con morfologías variables (Fig. 2.6). La población más relevante (~50%) corresponde a granos euhedrales con textura zonada que varía desde una zonación oscilatoria bien desarrollada a zonas de crecimientos anchas y difusas (Tabla 2.1; Fig. 2.6 A-D). Solamente un 30% de los cristales de circones están rotos. Las relaciones entre el largo y el ancho de los cristales varía desde 0,9 a 3,5 (por ejemplo: Fig. 2.6 A, B) reflejando diferentes velocidades de cristalización, aunque no se pueden descartar algunos posibles cambios en la temperatura y la composición del fundido (Corfu et al., 2003).

Algunos de los granos muestran un patrón de zonación más complejo, caracterizado por un núcleo complejo oscilatorio truncado en el borde, con una orientación que no coincide con la forma externa del cristal (Fig. 2.6E). Otros granos están compuestos por un núcleo que varía de homogéneo a complejo sobre el que crece un reborde con zonación oscilatoria o un delgado reborde homogéneo. Es importante destacar que gran parte de los granos homogéneos rotos corresponden predominantemente a edades proterozoicas.

Los resultados analíticos fueron ploteados en un diagrama Tera-Wasserburg (Tera & Wasserburg, 1972) como relaciones totales, sin correcciones por Pb (Fig. 2.7<sup>a</sup>). La mayoría de los datos caen cerca de la curva de concordia por lo tanto las áreas analizadas son dominadas por plomo radiogénico. Algunos de los granos analizados presentan enriquecimientos en Pb variables, y por ello las relaciones totales ploteadas en la figura 2.7<sup>a</sup> se muestran por debajo de la curva concordia. Esto no indica que las áreas analizadas son

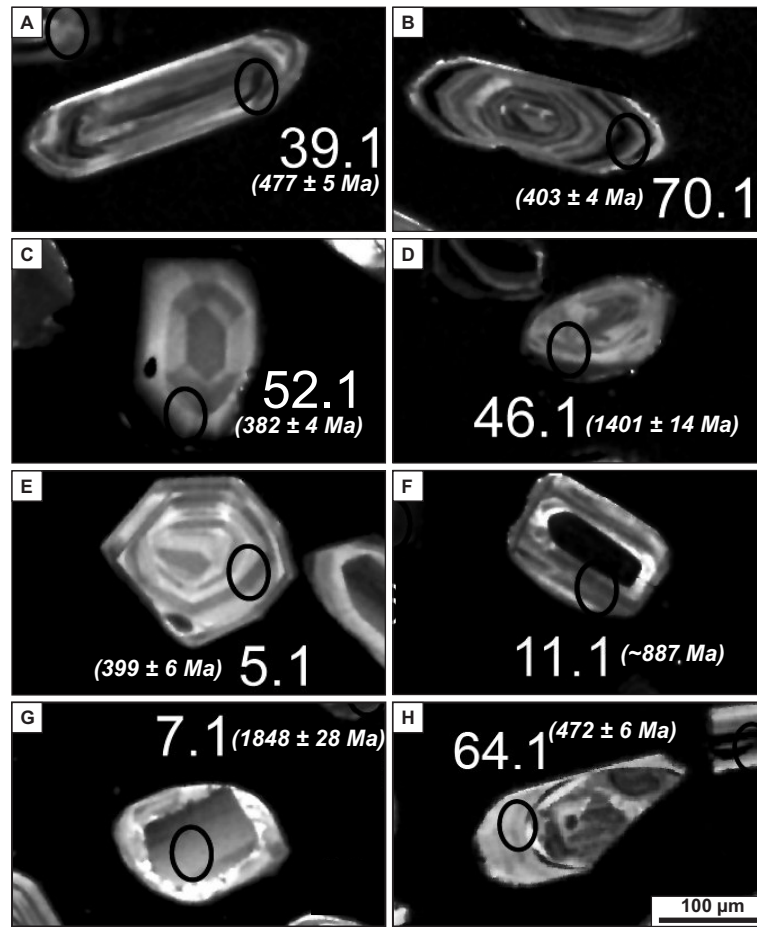
**Tabla 2.1:** Resultados U-Pb SHRIMP de los circones del basamento de Cerro Negro

Análisis	Morfología del circon	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	<sup>206</sup> Pb* (ppm)	Edades (Ma)					Análisis	Morfología del circon	U (ppm)	Th (ppm)	Th/U	Pb* (ppm)	Edades (Ma)				
						<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±	Disc (%)							<sup>206</sup> Pb/ <sup>238</sup> U	±	<sup>207</sup> Pb/ <sup>206</sup> Pb	±	Disc (%)
1,2	zo	257	190	0,74	16	437	6				36,1	nha	165	43	0,26	24	1001	12	1115	23	10
2,1	nca	767	184	0,24	50	474	5				37,1	zoc	217	98	0,45	14	446	6			
3,1	zo	335	122	0,36	19	406	5				38,1	ochr	438	232	0,53	24	386	4			
4,1	zg	132	118	0,90	7	382	6				39,1	oz	502	244	0,49	34	477	5			
5,1	zoc	220	182	0,83	12	399	6				40,1	nha	40	25	0,64	8	1342	23	1386	35	3
6,1	nhao	648	413	0,64	34	377	4				41,1	h	29	15	0,53	7	997	58	1368	1512	27
7,1	nha	241	38	0,16	61	1676	18	1842	28	9	42,1	zo	477	661	1,39	26	382	4			
8,1	zo	648	493	0,76	38	420	5				43,1	h	54	39	0,71	5	621	11			
9,1	nha	292	206	0,70	16	390	5				44,1	zg	427	213	0,50	23	387	5			
10,1	nha	294	105	0,36	122	2543	25	2635	7	3	45,1	zo	282	172	0,61	17	399	5			
11,1	nha	548	171	0,31	58	752	8	887	30	15	46,1	zd	238	90	0,38	51	1429	15	1401	14	-2
12,1	nha	504	446	0,89	27	393	4				47,1	zoc	278	125	0,45	16	386	5			
13,1	zo	465	94	0,20	49	746	8				48,1	zg	578	292	0,51	36	431	5			
14,1	zo	617	165	0,27	34	394	4				49,1	h	128	40	0,32	7	408	6			
15,1	zg	551	335	0,61	30	395	4				50,1	zo	741	533	0,72	47	426	5			
16,1	ncao	433	227	0,53	28	467	5				51,1	zo	267	276	1,03	15	396	5			
17,1	zd	442	167	0,38	25	404	5				52,1	zg	439	280	0,64	24	382	4			
18,1	nca	118	13	0,11	8	474	7				53,1	zo	522	334	0,64	29	388	4			
19,1	zo	340	181	0,53	97	1854	19	1870	9	1	54,1	nhao	142	99	0,70	8	402	6			
20,1	zg	567	119	0,21	35	433	5				55,2	zd	229	183	0,80	13	400	5			
21,1	h	40	13	0,33	6	986	20	1063	85	7	56,1	zd	339	208	0,61	30	595	7			
22,1	zoc	327	268	0,82	21	446	5				57,1	zo	322	228	0,71	22	472	6			
23,1	zo	378	208	0,55	20	380	4				58,1	nha	365	454	1,25	20	396	5			
24,1	zg	239	181	0,76	15	433	6				59,1	nhao	256	123	0,48	15	403	5			
25,1	zg	410	173	0,42	28	477	6				60,2	zg	127	93	0,73	7	394	6			
26,1	zoc	176	125	0,71	11	444	6				61,1	zoc	190	103	0,54	12	458	6			
27,1	zd	152	100	0,66	9	438	6				62,1	zd	486	283	0,58	29	411	5			
28,1	nha	306	166	0,54	16	375	5				63,1	zg	330	24	0,07	33	679	17			
29,1	zd	103	108	1,05	17	1156	16	1098	62	-5	64,1	nca	173	41	0,24	12	472	6			
30,1	nhao	173	110	0,63	12	504	7				65,1	zg	741	730	0,98	44	421	5			
31,1	zoc	488	341	0,70	31	449	5				66,1	nhao	520	248	0,48	31	425	5			
32,1	h	192	58	0,30	11	386	5				67,1	zoc	125	107	0,86	7	404	6			
33,1	zo	282	148	0,52	16	399	5				68,1	zo	352	223	0,63	20	402	5			
34,1	zo	278	123	0,44	57	1378	16	1400	14	2	69,1	nhao	1414	628	0,44	74	368	4			
35,1	zo	205	119	0,58	11	392	5				70,1	zo	735	274	0,37	42	403	4			

**Referencias:** zo: zonación oscilatoria; zd: zonación difusa; zg: zonación gruesa; zoc: zonación oscilatoria compleja; nhao: núcleo homogéneo con reborde con zonación oscilatoria; ncao: núcleo complejo con reborde con zonación oscilatoria; nha: núcleo homogéneo con reborde; nca: núcleo complejo con reborde; noa: núcleo con zonación oscilatoria con reborde; h: homogéneo.

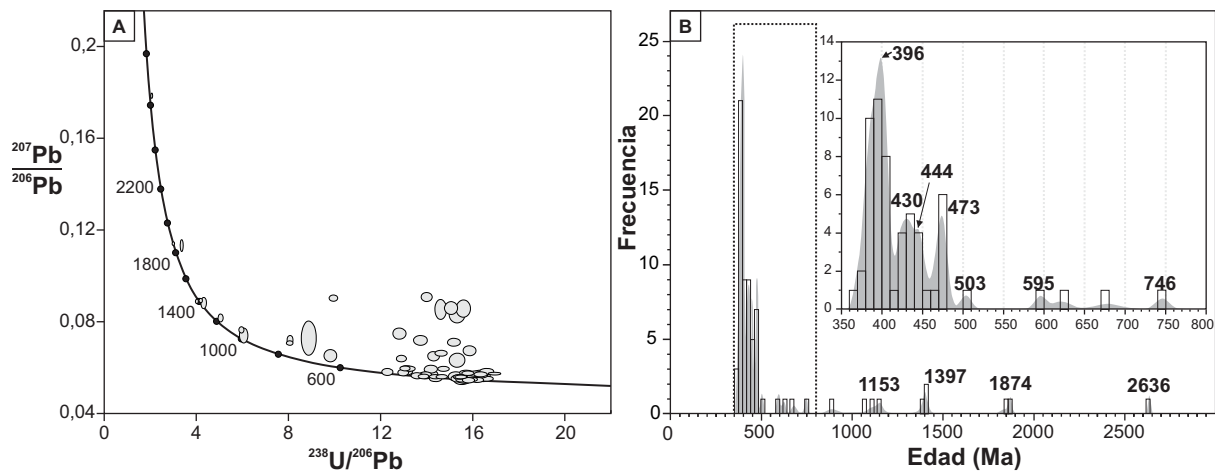
Notas: 1) Las incertidumbres están dadas con un nivel de 1  $\sigma$ . 2) El error usado para la calibración (circon Temora de referencia) es de 0.55% para la parte analítica (requerida cuando se comparan los datos de <sup>206</sup>Pb/<sup>238</sup>U). 3) Para las edades más antiguas que ~800 Ma, la corrección por Pb fue realizada usando la relación <sup>204</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb. 4) Para las edades más jóvenes que ~800 Ma, se utilizó la corrección por Pb según <sup>238</sup>U/<sup>206</sup>Pb y <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb siguiendo Tera & Wasserburg (1972) tal como esta indicado en Williams (1998). 5) Para las edades más jóvenes que ~800 Ma, se utilizó la corrección por Pb según <sup>238</sup>U/<sup>206</sup>Pb y <sup>207</sup>Pb/<sup>206</sup>Pb siguiendo Tera & Wasserburg (1972) tal como esta indicado en Williams (1998). 6) Para % Disc, 0% indica un analisis concordante.





**Figura 2.6:** Imágenes CL representativas de los granos de circones de Cerro Negro que muestran la localización del análisis SHRIMP junto a la edad radiogénica obtenida. **A-B)** Circón euhedral con zonación interna oscilatoria. **C)** Circón euhedral con zonación interna gruesa. **D)** Circón redondeado con zonación interna difusa. **E)** Circón euhedral con zonación interna oscilatoria compleja. **F)** Circón redondeado con núcleo homogéneo con reborde con zonación difusa. **G)** Circón redondeado con núcleo homogéneo y reborde homogéneo. **H)** Circón con núcleo complejo con reborde. Escala de todas las imágenes en H). Nota: el número (e.g. 39.1) es el número de análisis en la Tabla 2.1.





**Figure 2.7:** A) Diagrama Tera-Wasserburg Concordia correspondiente a la muestra circones de la muestra de Cerro Negro. B) Histogramas de distribución de edades de los circones detríticos (probabilidad relativa) del basamento de Cerro Negro.

discordantes, sino solamente que están enriquecidas en Pb. La figura 2.7B muestra el histograma de edades radiogénicas para la muestra analizada.

Las edades  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de los 70 granos detríticos analizados van desde aproximadamente los 2500 a los 370 Ma. Cerca del 47% de las edades son devónicas y están distribuidas entre los  $368 \pm 4$  y  $411 \pm 5$  Ma con un pico unimodal a los  $\sim 369$  Ma. Los resultados de 10 análisis (14%) arrojaron edades silúricas entre  $420 \pm 5$  y  $444 \pm 6$  Ma, con dos picos secundarios a los  $\sim 430$  y  $\sim 444$  Ma. Edades ordovícicas se detectaron en 11 circones analizados (16%) de entre  $446 \pm 6$  a  $477 \pm 6$  Ma, con un pico secundario en los 473 Ma. Un solo cristal de circón mostró una edad cámbrica de  $504 \pm 7$  Ma. Los granos remanentes (16%) arrojaron edades proterozoicas de entre  $595 \pm 7$  y  $1870 \pm 9$  Ma, con escasos y pequeños picos (o con valores individuales) de 595, 746, 1153, 1397 y 1874 Ma. El grano más antiguo analizado reveló una edad arqueana de  $2635 \pm 7$  Ma.

Los seis circones más jóvenes han sido tenidos en cuenta para el cálculo de la edad máxima de sedimentación, arrojando una edad de  $379 \pm 4$  Ma (MSWD = 0,40). Los puntos analizados en cada circón están ubicados en los bordes reflejando sus edades más jóvenes. El grano más joven analizado arrojó una edad  $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$  de  $368 \pm 4$  Ma, y fue omitido del cálculo debido a su significativamente alto contenido en U con respecto a los otros análisis (1414 ppm, siendo el promedio 339 ppm), sugiriendo un daño por radiación y la subsecuente pérdida de Pb (ver Dickinson & Gehrels, 2009).

### **2.3.2. Secuencia Volcánica Jurásica**

La secuencia volcánica jurásica está distribuida en una zona de geometría sub-circular, de unos 5 km de diámetro y su emplazamiento se encuentra controlado por estructuras de rumbo NO-SE y E-O (Shatwell et al., 2011). El vulcanismo está representado por un ciclo inicial denominado Sección Inferior, que se asigna a la Formación Bajo Pobre. Está conformado por intercalaciones de lavas y niveles piroclásticos de flujo de composiciones andesíticas a dacíticas y cuerpos intrusivos subvolcánicos de similares composiciones. Con posterioridad a las unidades descriptas anteriormente, se registra una importante discordancia erosiva que separa a un nuevo ciclo tardío agrupado en la Sección Superior, que se asigna a las formaciones Chon Aike y La Matilde. La misma se compone de unidades mayormente ácidas, formada por tobas y tufitas, ignimbritas y domos extrusivos de composiciones riolíticas.

A continuación se destacan las principales características de las unidades para cada sección:

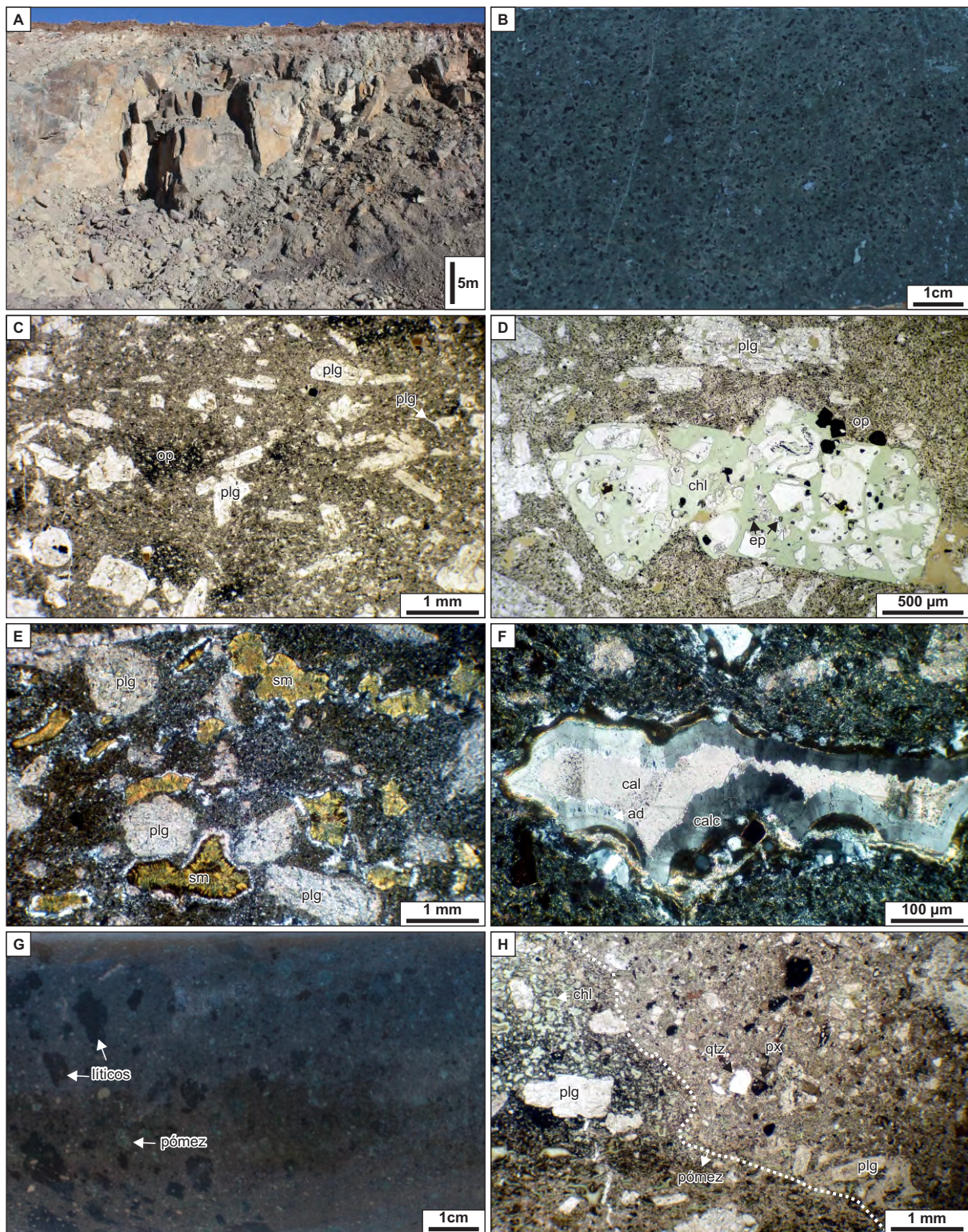
#### 2.3.2.1. Sección inferior

Andesitas Inferiores: La secuencia se inicia con sucesivas coladas de composición andesítica, ubicadas mayormente hacia el sector centro-noreste del área, en la zona del sistema Marianas-San Marcos, siendo la principal roca de caja de estas vetas y alcanzando los 350-400 m de potencia (Figs. 2.2). Las andesitas son de colores grises a verdosas oscuras, con texturas porfíricas a glomeroporfíricas con 25-30% de fenocristales de plagioclasas y de piroxenos, rodeados por una pasta microcristalina rica en plagioclasas y opacos (inclusive magnetita) con textura pilotáxica a felsítica (Fig. 2.8 A-C). Los fenocristales de plagioclasa van desde 200  $\mu\text{m}$  hasta 3 mm y se encuentran comúnmente parcial y/o totalmente alterados a sericita, adularia y calcita sobreimpuesta (Fig. 2.8C). Los piroxenos son menos abundantes y presentan tamaños de hasta 2 mm, completamente alterados a clorita acompañada de opacos (pirita) y carbonatos (Fig. 2.8D). Por su parte, la pasta se presenta parcialmente alterada a esmectitas, cloritas y calcita como parches y/o en forma de finas vetillas. De manera frecuente esta unidad registra cavidades que pueden estar rellenas de cuarzo (calcedonia), adularia, calcita y cloritas tardías como también rellenas de esmectitas y adularia póstuma (Fig. 2.8 E, F). Cabe destacar que en el sector conocido como Vein Zone, esta unidad se apoya en discordancia sobre el basamento del Paleozoico superior descripto previamente.

Ignimbrita Negra: No aflora dentro del área de estudio, se ha identificado mediante perforaciones en el sector Marianas-San Marcos, donde aparece de manera intercalada entre las Andesitas Inferiores conformando pequeños bancos de escasos metros de potencia. Se trata de una roca oscura con abundantes fragmentos líticos de andesita (Fig. 2.8G). Los cristaloclastos de plagioclasa (200  $\mu\text{m}$  a 3 mm) se encuentran parcialmente argilizados, mientras que los de piroxenos (200  $\mu\text{m}$ ) tienen alteración propilítica. Además, se observan escasos cristaloclastos de cuarzo (200  $\mu\text{m}$ ). Esta unidad se caracteriza por abundantes fragmentos pumíceos subredondeados de hasta 3 centímetros, muy vesiculados y parcialmente aplastados, con cristales de plagioclasa y piroxenos (Fig. 2.8H). De manera tardía, se observan parches y vetillas de calcita y baritina.

Ignimbrita Eureka Inferior: Depósitos de flujo piroclásticos de composición dacítica que hacia el centro del área de estudio se apoyan sobre las coladas de Andesitas Inferiores (Fig. 2.2), conformando bancos estratificados y lomadas suaves redondeadas con espesores





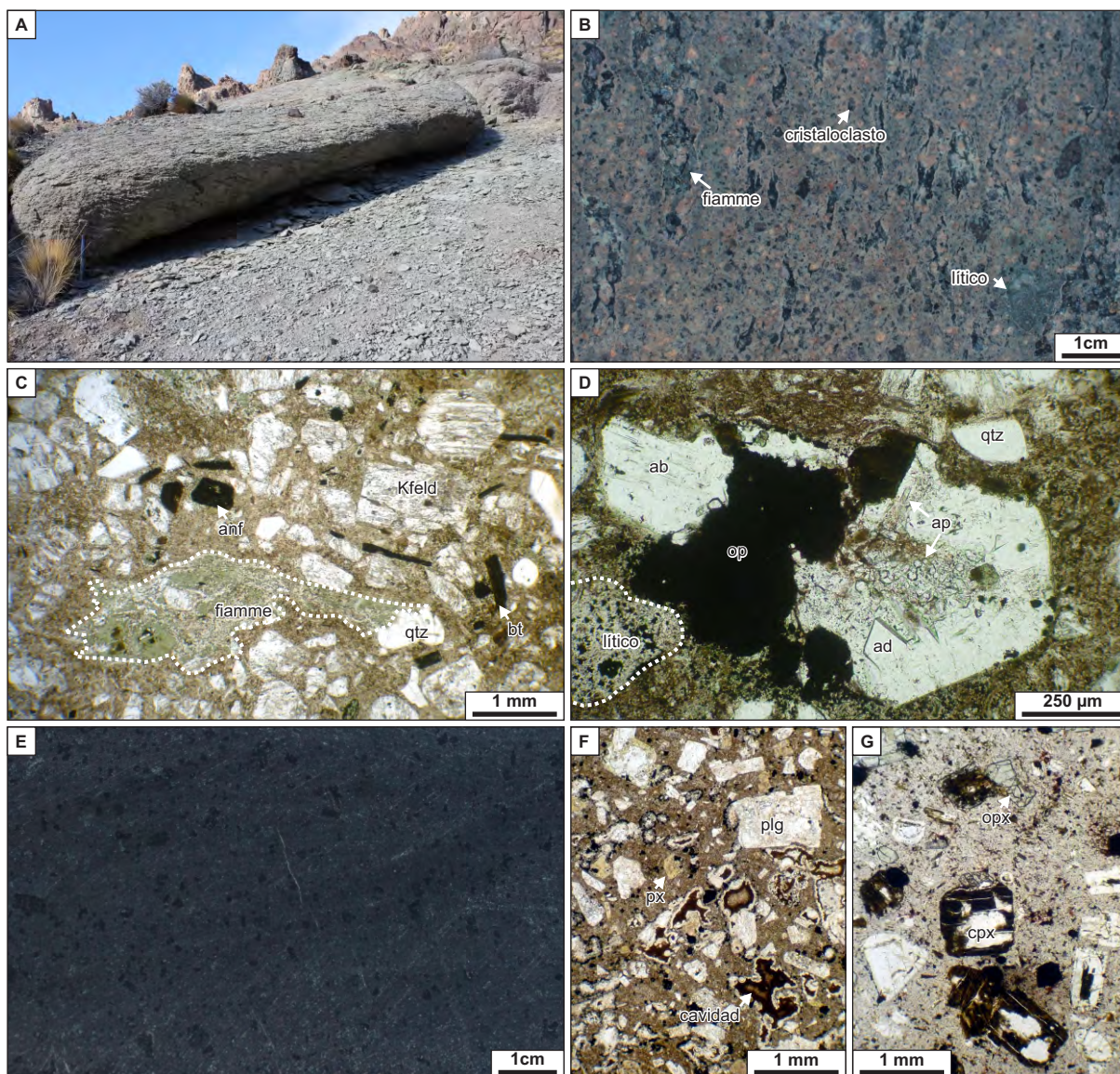
**Figura 2.8:** Unidades correspondientes a la Sección Inferior. **A)** Afloramiento de Andesitas Inferiores con disyunción columnar en el camino rumbo a Marianas-San Marcos. **B)** Textura a muestra de mano de las Andesitas Inferiores de color verde oscuro compuestas por plagioclasas y piroxenos y con abundantes cavidades. **C)** Textura porfírica de plagioclasas y piroxenos en una pasta felsítica, MLT (//). **D)** Detalle de piroxeno reemplazado por clorita, epidoto y opacos, MLT (//). **E)** Abundantes cavidades rellenas de esmectita y fenocristales de plagioclasas sericitizadas, MLT (+). **F)** Detalle de cavidad tapizada por calcedonia y rellena de adularia y calcita póstuma, MLT (+). **G)** Ignimbrita Negra en testigo de perforación del área Marianas-San Marcos. **H)** Ignimbrita Negra, fragmentos pumíceos con vesículas parcialmente aplastadas rellenas de clorita, MLT (//). **Referencias:** ad: adularia; cal: calcita; calc: calcedonia; chl: clorita; ep: epidoto; op: opacos; plg: plagioclase; px: piroxeno; sm: esmectitas. MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos, (+) nicols cruzados.

mayores a 50 metros (Fig. 2.9A). Se trata de ignimbritas moderadamente soldadas de color verdoso a morado y de aspecto masivo, entre los que se desarrollan algunos niveles de surge. Esta unidad se caracteriza por la presencia de abundantes fiammes alargados de hasta 5 cm, de tonalidades verdosas, que determinan una textura eutaxítica marcada (Fig. 2.9 B, C). Los cristaloclastos son abundantes y tienen tamaños de 0,5 a 2 mm y corresponden principalmente a feldespatos potásicos seguidos por cuarzo, plagioclasas, biotita y anfíboles (Fig. 2.9C). Los fiammes llevan fenocristales de la misma composición. Frecuentemente, se encuentran cloritizados y algunos registran texturas de desvitrificación como micropoiquilítica y esferulítica. Además, la matriz se encuentra parcialmente desvitrificada, y en algunos sectores se conservan trizas vítreas cuspidadas cloritizadas. Los litoclastos son en general abundantes con tamaños desde algunos milímetros hasta decímetros de composición andesítica (Fig. 2.9 B, D). En algunas perforaciones de Eureka, estas ignimbritas presentan cavidades rellenas de cuarzo-adularia, albita, cristales de aciculares de apatita, cloritas y escaso epidoto (Fig. 2.9D).

Andesitas Intermedias: Aflora mayormente hacia el oeste del área y está caracterizada por una serie de coladas de composición andesítica, que constituyen parte de las rocas de caja del bloque bajo de la veta Eureka (Fig. 2.2). Las andesitas son de colores gris-verdosos con texturas porfíricas a glomeroporfíricas con 25-30% de fenocristales (Fig. 2.9E). Los mismos corresponden a plagioclasas y piroxenos de 200 a 500  $\mu\text{m}$ , rodeados por una pasta microcristalina rica en plagioclasas y opacos con textura pilotáxica a felsítica que posee cavidades irregulares rellenas de esmectitas (Fig. 2.9F). Los piroxenos corresponden a clinopiroxeno (augita) de hasta 2 mm con inclusiones de magnetita y apatita, y por otra parte a ortopiroxenos parcialmente reemplazados por clorita-esmectita y opacos (Fig. 2.9G).

Pórfidos Andesíticos: Dentro de esta unidad se agrupan un conjunto de cuerpos subvolcánicos someros que intruyen a la secuencia descrita anteriormente, y forman parte de las rocas de caja de la veta Eureka en su extremo noroeste. Hacia el norte de dicha estructura, se presentan como rocas de colores gris-verdosas caracterizadas por texturas porfíricas a glomeroporfíricas (30-35% de fenocristales) compuestas por fenocristales de plagioclasas, piroxenos y anfíboles en una pasta felsítica (Fig. 2.10 A, B). Al microscopio los minerales máficos (0,5-2mm) corresponden principalmente a clinopiroxenos con inclusiones de magnetita, ortopiroxenos reemplazados por clorita y calcita, y en menor medida se registran algunos cristales de hornblenda parcialmente alterados a calcita (Fig. 2.10B). Hacia el sector sur de la veta Eureka en su porción noroeste, esta unidad se compone de andesitas grises a





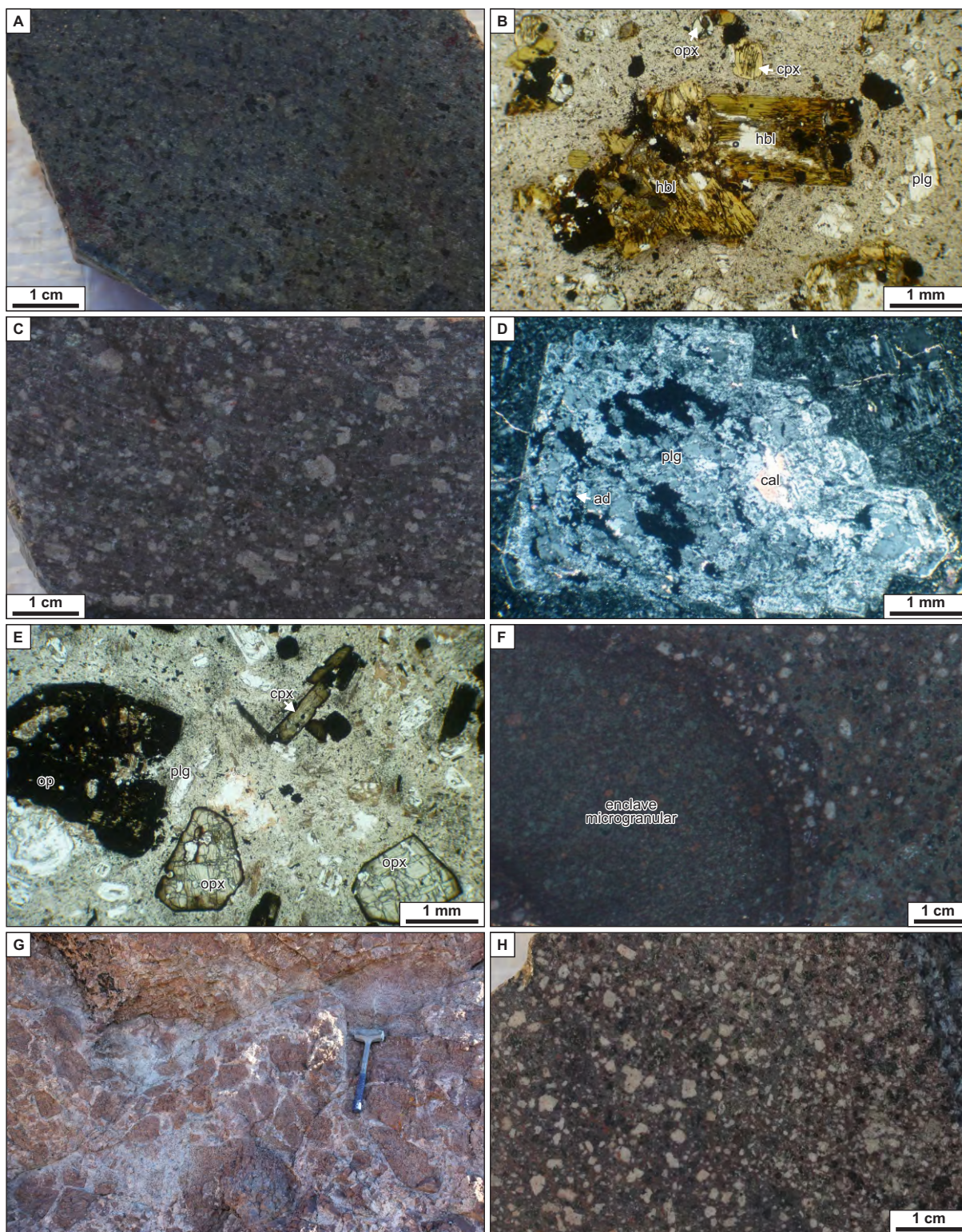
**Figura 2.9:** Unidades correspondientes a la Sección Inferior. **A)** Afloramiento en forma de banco de la Ignimbrita Eureka Inferior. **B)** Ignimbrita Eureka inferior en testigo de perforación con textura eutaxítica y líticos de andesitas. **C)** Microfotografía de la textura de la ignimbrita donde se observan la cantidad de cristaloclastos y un fiamme aplastado cloritizado, MLT (//). **D)** Cavity rellena de adularia, albita y opacos en matriz de la ignimbrita, MLT (//). **E)** Andesitas Intermedias en testigo de perforación de la veta Eureka Oeste. **F)** Microfotografía de las Andesitas Intermedias con textura porfírica compuesta por plagioclasas, piroxenos y cavidades, MLT (//). **G)** Detalle de fenocristales de ortopiroxenos cloritizados y clinopiroxenos reemplazados por clorita-esmectitas, MLT (//). **Referencias:** ab: albita; ad: adularia; anf: anfíbol; ap: apatita; bt: biotita; cpx: clinopiroxeno; Kfeld: feldespato potásico; op: opaco; opx: ortopiroxeno; plg: plagioclasa; qtz: cuarzo. MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos.

verdosas oscuras, con texturas porfíricas a glomeroporfíricas (25-30% de fenocristales), caracterizadas por la presencia de fenocristales de plagioclasas tabulares gruesos (1-3mm) acompañados de piroxenos (3 mm), rodeados por una pasta microcristalina, rica en plagioclasas y abundantes opacos, con textura felsítica (Fig. 2.10 C, D). Las plagioclasas se encuentran cribadas y zonadas, y parcialmente reemplazadas por adularia y calcita tardía (Fig. 2.10D). De manera poco frecuente se reconocen fenocristales de sanidina (0,5mm) con macla de Carlsbad y rasgos de reabsorción por disequilibrio. Los minerales máficos son bastante abundantes y corresponden a dos tipos de piroxenos (0,5-2mm) totalmente reemplazados por opacos, esmectitas y clorita (Fig. 2.10E). Como minerales accesorios se encuentran magnetita y cristales de apatita en la pasta. Además se registran cavidades tapizadas por cuarzo y esmectitas, y rellenas de baritina. Frecuentemente, en este sector, los pórfidos registran enclaves microgranulares máficos de composición microdiorítica (Fig. 2.10F).

Finalmente, intrusivos andesíticos equivalentes a los descritos se hayan de manera restringida en la zona de Marianas-Eureka asociados a depósitos autoclásticos (Fig. 2.10 G, H).

*Pórfidos Dacíticos:* Rocas subvolcánicas de composición dacítica que se localizan hacia el norte y sur de la veta Eureka, en su sector noroeste (Fig. 2.2). Las rocas poseen una coloración gris-verdosa, con texturas porfíricas a glomeroporfíricas (25-30% de fenocristales) y se distingue por la coloración rosada de sus feldespatos (Fig. 2.11 A-D). Los fenocristales son abundantes y corresponden a plagioclasas y feldespato potásico (200  $\mu$ m a 3 mm), cuarzo engolfado (500  $\mu$ m a 4 mm), anfíboles (200  $\mu$ m a 2 mm), biotita (0,5 a 1,5mm) y piroxeno (0,5 mm) rodeados por una pasta microcristalina ricas en plagioclasas y opacos con textura felsítica (Fig. 2.11C). Las plagioclasas se hayan frecuentemente argilizadas, cubiertas por una mezcla de illita con esmectitas, con calcita sobreimpuesta. Las sanidinas tienen macla de Carlsbad característica y se encuentran reemplazadas en forma de microfracturas por illita y calcita (Fig. 2.11E). Los minerales máficos se encuentran oxidados y/o reemplazados por illita, clorita y calcita. De manera aislada se reconocen cristales octogonales, completamente reemplazados por minerales opacos y cloritas, que corresponderían a piroxenos (Fig. 2.11C). Como minerales accesorios se reconocen apatita, magnetita y abundantes circones. Además, se observan algunas cavidades irregulares ocupadas por esmectitas, calcita y cuarzo.





**Figura 2.10:** Unidades correspondientes a la Sección Inferior. **A)** Pórfido Andesítico al norte de la veta Eureka en su sector central. **B)** Pórfido Andesítico con textura porfírica a glomeroporfírica compuesta por fenocristales de hornblenda, piroxenos y plagioclasas en una pasta felsítica, MLT (//). **C)** Pórfido Andesítico al sur de la veta Eureka en su sector central a oeste, con fenocristales de plagioclasas tabulares. **D)** Detalle de plagioclase tabular parcialmente reemplazada por adularia y calcita póstuma, MLT (+). **E)** Pórfido andesítico con textura porfírica a glomeroporfírica compuesta por fenocristales clino y ortopiroxenos y plagioclasas en una pasta felsítica, MLT (//). **F)** Enclave microgranular máfico en testigo de perforación del Pórfido Andesítico en el bloque alto de la veta Eureka Oeste. **G)** Afloramiento de depósito autoclástico de pórfido andesítico en la zona de Marianas-San Marcos **H)** Detalle en muestra de mano del pórfido andesítico. **Referencias:** ad: adularia; cal: calcita; cpx: clinopiroxeno; hbl: hornblenda; opx: ortopiroxeno; plg: plagioclase. MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicoles paralelos, (+) nicoles cruzados.



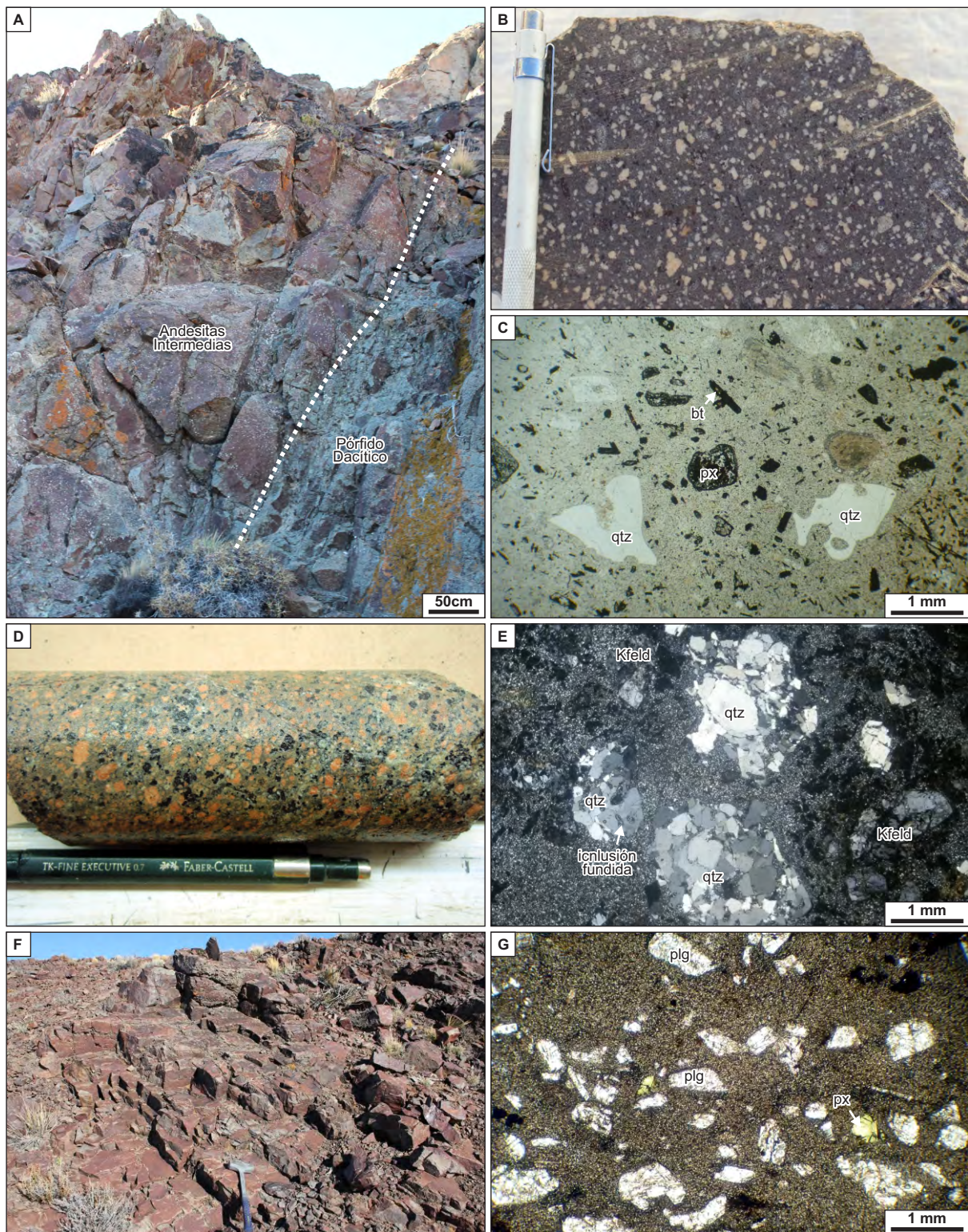
Esta unidad además se registra a partir de perforaciones en el bloque bajo y en profundidad como roca de caja de la veta Eureka West (Fig. 2.11D). En este sector, se distingue un porcentaje significativo (5-10 %) de los fenocristales de cuarzo fragmentados, con fracturas concoideas desde zonas de engolfamientos (inclusiones fundidas), pero aun pudiendo reconstruir su forma original tipo rompecabezas (Fig. 2.11E). Allen & McPhie (2003) indican la presencia de fragmentos de fenocristales en lavas y domos e interpretan que su origen es el resultado de la descompresión y cizallamiento durante el ascenso del magma evidenciado en fenocristales con abundantes inclusiones fundidas.

Andesitas Superiores: Se trata de un conjunto de afloramientos discontinuos de coladas andesíticas de poco espesor que se reconoce por encima de las unidades descriptas previamente (Figs. 2.2, 2.11F). Estas rocas presentan coloraciones grises, texturas porfíricas a glomeroporfíricas (10-20% de fenocristales) con pocos fenocristales de plagioclasa y de piroxeno en una pasta microcristalina compuesta por plagiolasas y opacos con textura pilotáxica a traquitoide (Fig. 2.11G). Las plagioclasas se encuentran parcialmente reemplazadas por adularia y sericitizadas con calcita póstuma mientras que los máficos están alterados a clorita.

Ignimbrita Eureka Superior: Esta unidad tiene una gran extensión principalmente el sur de la veta Eureka (Fig. 2.2). Está caracterizada por ignimbritas moderadamente soldadas, con abundantes líticos de andesitas en su base y cristaloclastos alineados de biotitas en una matriz fina muy alterada (Fig. 2.12 A, B). Al microscopio se observan cristaloclastos de cuarzo (0,5 a 1,5 mm), formas relícticas tabulares posiblemente de feldespatos (0,5 a 1 mm), reemplazadas por caolinita y cuarzo (Fig. 2.12C). En forma subordinada se reconocen relictos de biotita (0,5 a 2mm) reemplazada por cloritas, esmectitas y rutilo. Formas subredondeadas con canalículos podrían corresponder a pequeños fragmentos pumíceos (2 a 4 mm) muy argilizados, con caolinita cristalina, sílice y una fina disseminación de pirita, pero en su mayoría han sido devastados durante la confección del corte delgado por su baja dureza (Fig. 2.12C). Los líticos también están argilizados. La matriz es de grano fino, observándose posibles trizas vítreas y estructuras de tipo lapilli acrecional (Fig. 2.12D). Finalmente, la matriz lleva opacos oxidados (0,1 a 0,3 mm), probablemente pirita.

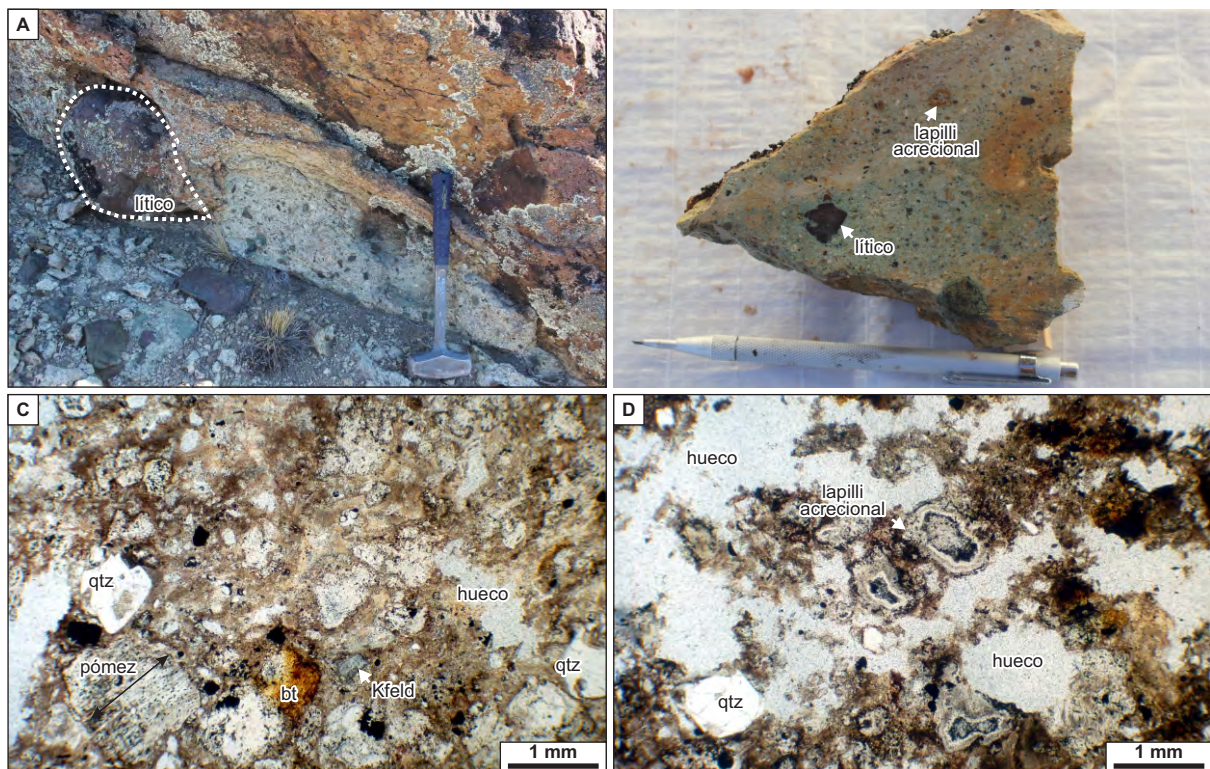
#### 2.3.2.2. Sección Superior

Tobas y Tufitas: El tope de la secuencia Jurásica está dominado por depósitos volcanoclásticos retrabajados (tufitas) en ambientes fluviolacustres producto de una pausa y/o apaciguamiento del vulcanismo durante el final de la actividad volcánica (Guido &



**Figura 2.11:** Unidades correspondientes a la Sección Inferior. **A)** Contacto intrusivo entre el Pórfido Dacítico y las Andesitas Intermedias al norte de la veta Eureka en su sector central. **B)** Pórfido Dacítico en muestra de mano caracterizado por fenocristales de feldespato potásico con un tinte rosado y ojos de cuarzo. **C)** Textura porfirica del Pórfido Dacítico con cristales de cuarzo engolfado y biotitas en una pasta felsítica, MLT (/). **D)** Pórfido Dacítico en testigo de perforación en el bloque bajo de la veta Eureka Oeste. **E)** Detalle de fenocristales de cuarzo fragmentados en Pórfido Dacítico, MLT (+). **F)** Afloramiento de las Andesitas Superiores al norte de la veta Eureka en su sector noroeste. **G)** Textura porfirica de las andesitas superiores con algunos fenocristales de cristales de plagioclasas y piroxenos en una pasta pilotáxica a traquitoide, MLT (/). **Referencias:** bt: biotita; cpx: clinopiroxeno; Kfeld: feldespato potásico; plg: plagioclase; px: piroxeno; qtz: cuarzo. MLT: microfotografía con luz transmitida (/) nicols paralelos, (+) nicols cruzados.





**Figura 2.12:** Unidades correspondientes a la Sección Inferior. **A)** Líticos de andesita en la base de la Ignimbrita Eureka Superior. **B)** Ignimbrita Eureka Superior en muestra de mano, con cristaloclastos de biotitas y estructuras de tipo lapilli acrecional. **C)** Microfotografía de la ignimbrita con abundantes huecos producto del pulido, cristaloclastos de cuarzo, biotitas cloritizadas y remanentes de fragmentos pumíceos con canalículos alargados, MLT (//). **D)** Detalle de estructuras de tipo lapilli acrecional en la matriz de la ignimbrita, MLT (//). **Referencias:** bt: biotita; Kfeld: feldespato potásico; plg: plagioclasa; qtz: cuarzo. MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos.

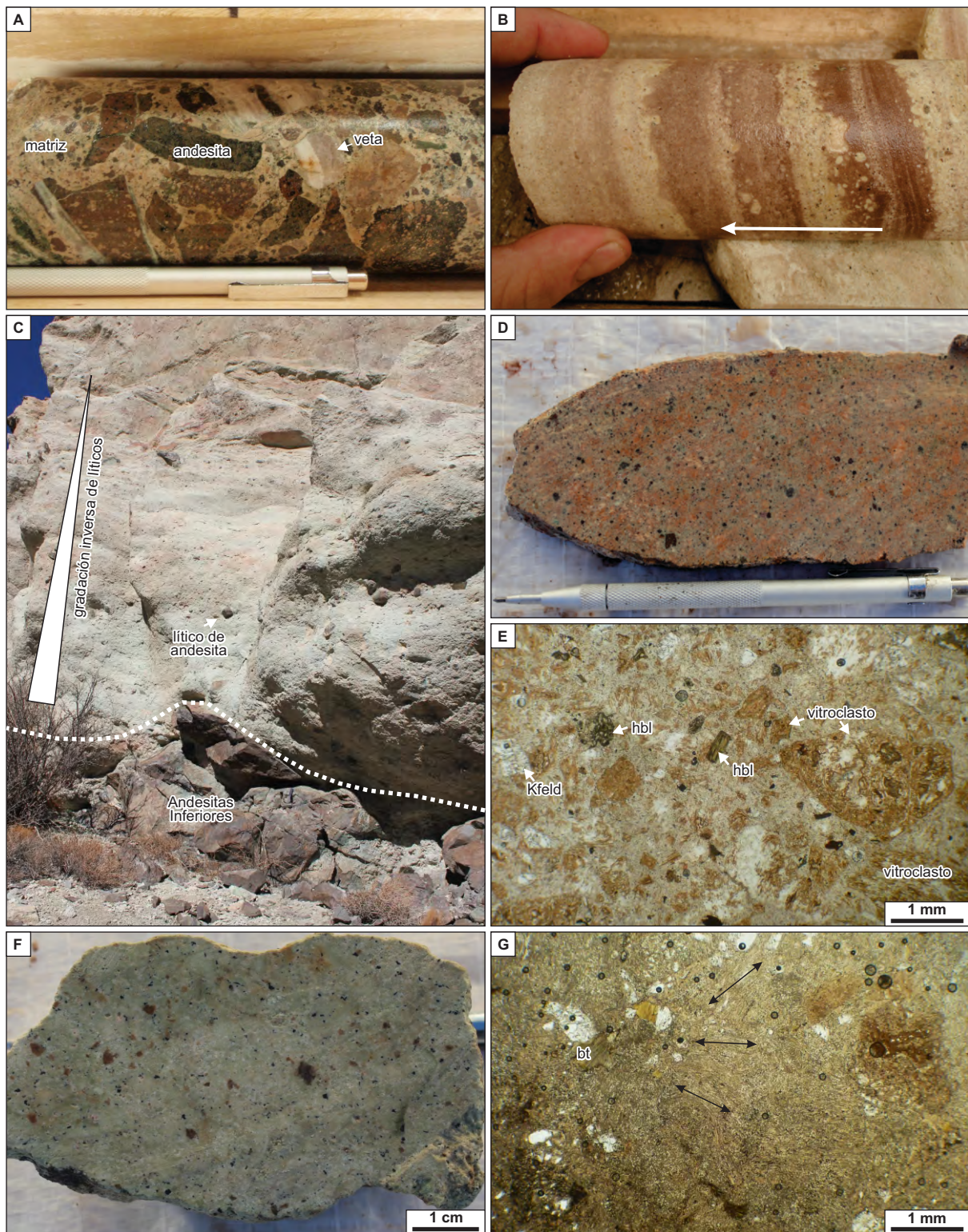
Campbell, 2012). Esta unidad se distingue hacia el oeste del área truncando a la veta Eureka West con espesores mayores a los 400 metros. En este sector, su base se caracteriza por presentar abundantes fragmentos de andesitas y de veta bandeada (Fig. 2.13A). La secuencia continua con paquetes de tufitas con estructuras sedimentarias (estratificación cruzada y ondulitas) intercalados con depósitos de surge piroclásticos y depósitos de caída (Fig. 2.13B). En el sector este del área, esta unidad ocupa grandes extensiones donde se desarrollan depósitos de *hot spring* (ver Capítulo 5).

*Ignimbritas Superiores:* Se extiende hacia el extremo norte y este del área sobre las Andesitas Inferiores (Figs. 2.2, 2.13C). Se trata de depósitos de flujos piroclásticos moderadamente soldados de al menos 300 m de espesor, con abundantes líticos en la base que alternan con niveles estratificados de surge piroclásticos y depósitos de caída (Fig. 2.13 C-G). Las ignimbritas están compuestas por fragmentos pumíceos (1 a 4 mm), cristaloclastos de plagioclasa, feldespato potásico, cuarzo, biotitas y anfíboles (500  $\mu$ m a 1mm) y líticos de composición andesítica (Fig. 2.13 D, E). Por la composición de los fenocristales, se trata de una ignimbrita fenodacítica a fenoriolítica. Los pómez se presentan argilizados o con abundantes canalículos, y muestran texturas de desvitrificación (micropoiquilitica y fracturas perlíticas). La matriz se encuentra con una alteración leve a moderada con desarrollo de parches de calcita.

*Lavas y Domos Riolíticos:* Conjuntamente con la secuencia previamente descrita se desarrollan una serie de domos riolíticos que llevan facies de autobrecha hacia los bordes (e.g. Figs. 2.2, 2.14 A, B). Las riolitas presentan filetes de flujo subparalelos a tortuosamente replegados, y presentan textura microporfírica (10% de fenocristales) compuestas por fenocristales de feldespato potásico, cuarzo y escasa plagioclasa y biotita, en una pasta fluidal rica en vidrio con texturas de desvitrificación esferulítica y micropoiquilitica a felsítica (Fig. 2.14C). Generalmente estas rocas se encuentran silicificadas con vetillas, brechas y cavidades rellenas de cuarzo.

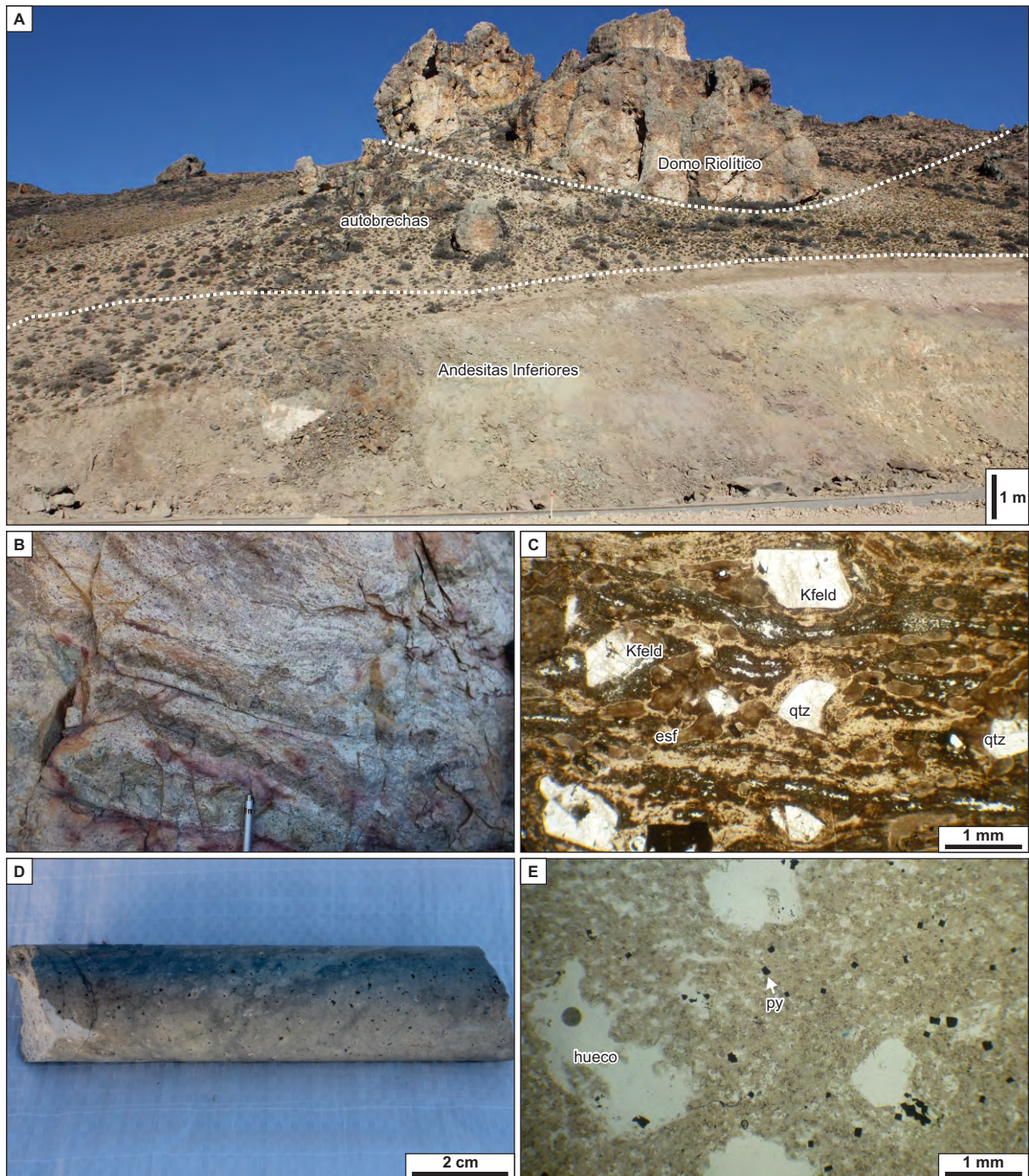
En perforaciones del sector Marianas-San Marcos, se registran diques afíricos a microporfíricos con cristales de anfíboles, frecuentemente silicificados que llevan abundante piritita diseminada y rellenos de calcita. Los mismos se interpretan como posibles diques alimentadores de los domos riolíticos (Fig. 2.14 D, E).





**Figura 2.13:** Unidades correspondientes a la Sección Superior. **A)** Fragmentos de andesitas y de veta con texturas bandeadas en la base de las tufitas por encima de Eureka West. **B)** Depósitos de surge en la secuencia que se sobrepone Eureka West. La dirección de la flecha indica el sentido de base a techo de la secuencia. **C)** Ignimbritas Superiores en contacto discordante con Andesitas Inferiores, en el sector de Marianas-San Marcos. **D)** Ignimbritas Superiores en muestra de mano de tonalidades moradas. **E)** Microfotografía de la ignimbrita con abundantes vitroclastos algunos desvitrificados y cristaloclastos de hornblenda y feldespato potásico, MLT (//). **F)** Tobas de caída en muestra de mano en la zona de Marianas-San Marcos. **G)** Microfotografía de las tobas de caída con abundantes fragmentos pumíceos en contacto (flechas de los canalículos) y algunos cristaloclastos de biotita, MLT (//). **Referencias:** bt: biotita; hbl: hornblenda; Kfeld: feldespato potásico; MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicoles paralelos.





**Figura 2.14:** Unidades correspondientes a la Sección Superior. **A)** Vista de un Domo Riolítico con facies de autobrecha, apoyando sobre las Andesitas Inferiores en la zona de Marianas-San Marcos. **B)** Detalle de afloramiento de Lavas Riolíticas con filetes de flujo subparalelos. **C)** Microfotografía de las Lavas Riolíticas con fenocristales de feldespato potásico y cuarzo en una pasta desvitrificada, MLT (//). **D)** Lavas Riolíticas africanas en testigo de perforación del sistema Marianas-San Marcos. **E)** Microfotografía Lavas Riolíticas africanas con pirita diseminada en la pasta, MLT (//). **Referencias:** Kfeld: feldespato potásico; py: pirita; qtz: cuarzo. MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos.

### 2.3.3. Geoquímica del vulcanismo

Con el objetivo de caracterizar geoquímicamente las unidades jurásicas, se realizaron 30 análisis químicos de roca total, en el laboratorio ALS, Canadá ([www.alsglobal.com](http://www.alsglobal.com)), mediante fluorescencia de rayos X y espectrometría de emisión ICP. En la Tabla 2.1 se presentan los resultados obtenidos, que arrojaron valores de LOI (*loss on ignition*) desde 0,7 a 7 %, por lo que los datos fueron ploteados para su discriminación en los diagramas de elementos inmóviles de Nb/Y vs.  $ZrTiO_2$  según Winchester & Floyd (1977) y de Y vs. Zr según MacLean & Barret (1993) para su discriminación, tal como proponen Páez et al. (2010), entre otros. En la figura 2.15A se destacan claramente dos grupos composicionales, el primero de ellos correspondiente a las unidades agrupadas dentro de la Sección Inferior (Andesitas Inferiores, Intermedias y Superiores, Ignimbritas Eureka Inferior y Superior; y Pórfidos andesíticos y dacíticos) que siguen un tren evolutivo co-magmático de composiciones mayormente intermedias (andesíticas a dacíticas). Por otra parte, la Sección Superior (Ignimbritas Superiores y Lavas Riolíticas) está caracterizada por una secuencia mayormente ácida, sin una relación co-magmática aparente con las unidades previas (Fig. 2.15A). Finalmente, la mayoría de las muestras analizadas corresponden a rocas intermedias a ácidas, con una signatura transicional a calcoalcalina (Fig. 2.15B).

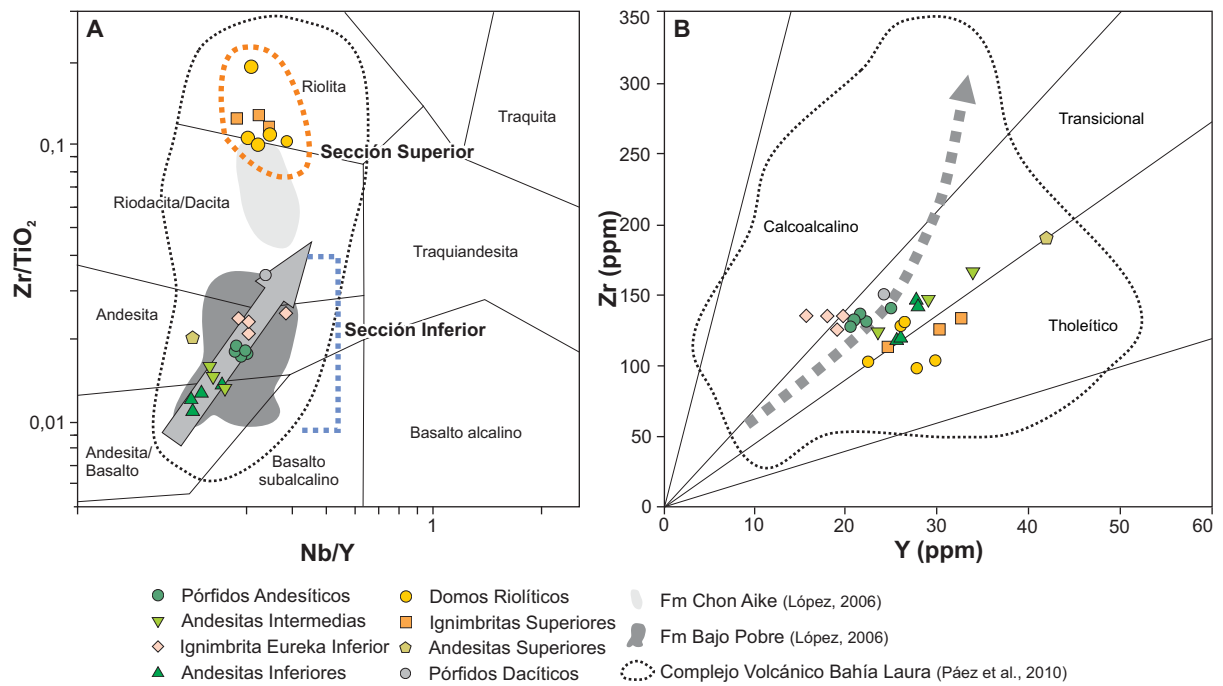
### 2.3.4. Edad del vulcanismo

La edad del vulcanismo fue señalada por López (2006) quien realizó tres dataciones (U-Pb en circones) en algunas de las unidades Jurásicas descriptas para la zona estudiada. Los resultados arrojaron edades de  $159 \pm 2,1$  Ma para las Andesitas Intermedias;  $157 \pm 1,7$  Ma para Pórfidos dacíticos y  $156 \pm 1,2$  Ma para la unidad Pórfidos Andesíticos, marcando un rango de edades de  $\sim 3$  Ma para la evolución de la Sección Inferior del Complejo durante el período Jurásico Superior. Estas edades ubican al vulcanismo del área en el período Jurásico Superior correspondiente al período V3 (162-153 Ma) propuesto por Riley et al. (2001) para el vulcanismo Jurásico de la Patagonia.

**Tabla 2.2:** Geoquímica de las vulcanitas jurásicas del oeste del distrito Cerro Negro

Muestra	276077	276078	276051	276053	276058	276071	276072	276073	276057	276075	276070	276079	276056	276069	276061	276065	276066	276059	276060	276062	276063	276064	276054	276068	276074	276080	276067	276052	276055	276076
Unidad*	Ainf	Ainf	Ainf	Ainf	IEKinf	IEKinf	IEKinf	IEKinf	Aint	Aint	Aint	PA	PA	PA	PA	PA	PA	PD	Asup	IEKsup	Isup	Isup	Isup	Isup	LR	LR	LR	LR	LR	LR
Elementos mayoritarios (% en peso)																														
SiO <sub>2</sub>	53,00	52,80	50,00	55,30	61,30	64,50	62,90	65,70	57,00	54,10	59,70	55,70	59,60	59,70	57,70	61,30	60,10	66,10	62,30	77,00	73,00	85,20	69,20	76,60	76,30	77,00	77,00	77,30	82,30	77,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18,80	18,50	18,15	17,55	15,00	14,10	14,35	14,45	17,35	16,20	16,40	18,65	16,20	15,75	16,25	16,80	16,75	15,20	17,05	11,30	12,90	8,46	14,15	13,35	12,10	11,70	11,95	10,95	11,40	11,85
FeOt	6,00	6,49	7,46	7,03	4,99	4,57	4,89	4,26	6,67	7,00	6,10	5,97	6,05	5,69	6,17	6,25	6,25	4,02	4,98	1,32	1,40	0,37	2,34	0,86	1,00	1,09	1,39	0,94	1,51	1,55
MgO	2,24	2,22	2,78	2,86	2,25	2,05	1,84	0,56	2,72	3,72	2,59	2,46	2,65	1,72	3,12	2,14	2,85	1,12	1,10	0,12	0,37	0,11	0,86	0,36	0,13	0,29	0,28	0,21	0,02	0,38
CaO	4,49	4,95	6,03	5,16	2,90	1,57	1,64	0,52	4,23	6,25	6,05	4,63	5,10	2,33	4,24	4,52	3,16	2,59	3,98	0,09	1,58	0,14	2,15	0,35	0,11	0,15	0,30	0,32	0,18	0,99
Na <sub>2</sub> O	3,00	2,55	2,60	2,70	1,18	0,12	0,12	0,19	3,67	3,03	2,83	4,94	2,57	1,81	3,03	3,28	4,48	3,11	3,89	0,16	1,45	0,05	1,31	1,25	0,19	0,15	0,85	0,46	0,04	0,07
K <sub>2</sub> O	4,71	4,29	4,24	3,33	6,63	8,39	9,51	9,93	3,37	0,79	3,06	1,16	3,45	8,90	3,72	2,72	2,58	3,84	2,81	8,57	4,49	0,04	3,76	5,31	8,57	7,10	7,59	7,61	0,04	5,25
TiO <sub>2</sub>	1,00	1,11	1,08	1,07	0,61	0,55	0,60	0,58	0,92	0,92	0,71	1,11	0,75	0,69	0,76	0,75	0,79	0,45	0,94	0,10	0,11	1,66	0,22	0,10	0,12	0,07	0,10	0,10	0,09	0,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,23	0,23	0,22	0,22	0,10	0,10	0,11	0,11	0,21	0,14	0,16	0,27	0,15	0,13	0,15	0,15	0,15	0,11	0,27	0,03	0,02	0,17	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	0,04	0,07	0,02
MnO	0,12	0,12	0,22	0,15	0,10	0,15	0,13	0,24	0,14	0,14	0,17	0,11	0,11	0,12	0,17	0,08	0,11	0,08	0,13	0,02	0,04	0,01	0,05	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,02	0,04
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
BaO	0,07	0,08	0,08	0,12	0,08	0,14	0,10	0,22	0,10	0,02	0,08	0,07	0,08	0,10	0,09	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,02	0,12	0,13	0,18	0,09	0,10	0,16	0,02	0,10
SrO	0,03	0,04	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,05	0,06	0,04	0,02	0,03	0,05	0,06	0,03	0,04	0,01	0,03	0,02	0,22	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
LOI	5,27	6,58	6,24	3,73	4,23	2,95	2,97	2,94	2,47	7,00	1,59	4,24	2,82	2,66	4,20	1,82	2,43	3,05	1,67	0,77	4,44	3,39	5,31	2,08	0,91	1,35	1,03	1,41	4,40	2,25
Total	98,98	99,97	99,16	99,27	99,40	99,22	99,19	99,73	98,90	99,35	99,50	99,38	99,58	99,63	99,64	99,97	99,83	99,82	99,28	99,60	99,94	99,65	99,74	100,45	99,66	99,05	100,65	99,53	100,11	99,82
Elementos Traza (ppm)																														
Rb	235,0	200,0	216,0	151,0	345,0	383,0	420,0	351,0	130,0	39,3	132,5	53,2	151,5	449,0	164,5	103,0	114,5	175,5	98,0	335,0	184,0	1,9	160,0	221,0	294,0	293,0	226,0	281,0	2,1	217,0
Sr	193,5	256,0	355,0	317,0	88,9	87,4	101,0	101,0	275,0	213,0	365,0	430,0	276,0	134,5	215,0	324,0	460,0	188,0	292,0	46,7	206,0	164,5	1685,0	60,7	45,3	29,6	33,0	47,5	49,7	35,9
Y	26,0	27,9	25,5	27,6	19,0	15,5	18,0	19,6	28,9	23,5	22,1	33,9	21,5	20,4	20,7	22,1	24,8	24,1	41,9	24,5	32,5	12,4	32,8	30,1	25,9	26,3	29,7	22,4	9,3	27,6
Zr	123	145	121	149	128	137	138	137	149	125	134	167	139	130	133	134	143	153	193	116	136	297	130	128	131	134	106	104	118	101
Nb	5,5	6,3	5,4	7,1	5,8	6,0	5,5	5,6	6,8	6,1	6,2	8,1	6,4	6,0	6,0	6,7	6,9	8,2	8,8	8,5	9,2	12,7	9,2	9,8	9,0	8,1	9,0	8,7	7,7	8,9
Cs	14,0	18,4	49,4	9,0	15,4	11,5	10,9	9,3	7,0	39,3	5,4	18,7	5,0	16,5	14,8	10,8	49,8	19,8	9,7	14,8	99,4	1,5	21,7	6,9	9,7	15,4	21,1	7,9	0,4	11,1
Ba	622	712	782	1105	735	1270	920	2060	880	200	737	571	715	796	804	886	994	965	986	872	910	160	1060	1165	1635	938	840	1500	167	871
La	20,1	21,6	17,3	20,8	20,4	21,4	20,8	21,2	24,7	16,6	22,0	21,6	22,3	21,0	21,6	22,1	21,4	30,9	31,5	31,6	40,4	34,8	41,3	42,2	37,9	32,8	36,4	31,3	29,4	35,8
Ce	43,5	49,2	37,6	47,5	42,0	42,3	41,7	43,8	52,3	36,7	45,9	49,2	44,9	43,7	45,1	44,2	44,5	60,7	67,9	65,1	76,4	67,5	82,4	79,1	75,2	67,7	66,9	62,5	40,2	73,6
Pr	5,22	5,99	4,58	5,84	4,69	4,50	4,67	4,69	5,93	4,32	5,01	5,96	4,98	4,65	4,98	5,00	5,18	6,66	8,24	7,12	8,64	7,10	9,02	8,79	7,83	7,49	7,91	6,61	2,87	7,86
Nd	23,1	26,8	22,1	26,1	19,0	18,1	18,5	18,7	26,5	19,4	21,2	27,4	21,4	19,7	21,3	20,0	21,8	26,8	36,7	27,6	33,7	28,4	36,2	34,5	31,1	29,3	31,7	26,2	8,1	30,8
Sm	5,64	6,28	5,41	5,56	4,03	3,81	3,77	3,89	5,84	4,38	4,34	6,37	4,16	4,45	4,15	4,59	4,74	5,46	7,88	5,08	6,47	4,76	6,93	6,58	5,68	5,81	6,14	4,84	1,50	6,13
Eu	1,47	1,38	1,41	1,41	1,05	0,82	0,98	0,95	1,51	1,12	1,15	1,54	1,20	1,03	1,16	1,08	1,23	1,03	1,89	0,71	0,99	1,16	1,03	0,86	0,72	0,75	0,83	0,66	0,20	0,75
Gd	5,44	5,83	5,49	6,08	3,96	2,94	3,89	3,67	5,56	4,47	4,46	6,56	4,29	4,14	4,55	4,39	4,58	4,95	8,74	4,62	5,77	4,15	6,44	5,26	5,07	5,25	5,24	4,20	1,26	5,53
Tb	0,83	0,85	0,80	0,85	0,60	0,49	0,55	0,60	0,88	0,68	0,64	0,99	0,74	0,60	0,67	0,64	0,72	0,75	1,23	0,71	0,94	0,54	1,00	0,82	0,75	0,75	0,82	0,59	0,25	0,84
Dy	5,10	5,49	5,47	5,50	3,80	3,32	3,47	3,42	5,52	4,75	4,28	6,26	4,51	3,96	4,18	4,18	4,46	4,54	8,46	4,63	5,57	2,80	6,17	5,09	4,67	4,87	5,25	3,65	1,64	5,44
Ho	1,10	1,12	1,12	1,13	0,77	0,61	0,70	0,65	1,16	0,99	0,81	1,31	0,90	0,82	0,87	0,81	0,93	0,97	1,73	0,97	1,15	0,51	1,30	1,01	0,98	1,04	1,13	0,83	0,35	1,05
Er	2,84	3,05	2,94	3,16	1,98	1,78	1,85	2,23	3,19	2,83	2,34	3,72	2,43	2,27	2,52	2,54	2,79	2,52	4,92	2,75	3,43	1,21	3,68	3,26	2,97	3,12	3,14	2,40	1,26	2,77
Tm	0,39	0,50	0,42	0,46	0,30	0,26	0,31	0,28	0,47	0,39	0,33	0,51	0,35	0,32	0,37	0,34	0,39	0,37	0,73	0,42	0,49	0,20	0,59	0,46	0,42	0,45	0,51	0,42	0,19	0,46
Yb	2,75	2,69	2,64	2,98	2,38	1,81	1,87	2,09	3,22	2,40	2,49	3,64	2,44	2,20	2,20	2,46	2,52	2,61	4,51	2,59	3,34	1,53	3,66	2,99	3,01	3,11	3,25	2,77	1,64	3,28
Hf	3,70	4,30	3,70	4,50	3,90	4,30	3,90	4,00	4,50	3,60	3,90	4,80	4,00	3,80	4,00	3,80	4,30	4,30	5,80	4,10	4,40	8,80	4,60	4,70	4,20	4,40	4,00	3,70	4,00	3,60
Lu	0,40	0,44	0,45	0,44	0,31	0,30	0,34	0,35	0,48	0,38	0,35	0,58	0,38	0,33	0,42	0,37														





**Figura 2.15:** Diagramas de discriminación geoquímica para el CVBL del oeste de Cerro Negro. **A)** Diagrama Nb/Y vs. ZrTiO<sub>2</sub> (Winchester & Floyd, 1977). **B)** Diagrama Y vs. Zr (MacLean & Barrett, 1993). Las flechas en gris indican los trenes evolutivos. Los datos geoquímicos de López (2006) corresponden a las facies asignadas como Fms Bajo Pobre y Chon Aike para el sector oeste de Cerro Negro. Los datos geoquímicos del regionales del CBVL fueron tomados de Páez et al. (2010a).

## 2.4. Discusiones y conclusiones

### 2.4.1. Basamento Pre-Jurásico

#### 2.4.1.1. Edad de depositación y correlaciones

Las correlaciones entre los diferentes asomos de metasedimentos en la porción sur de la Patagonia han sido estudiadas por numerosos autores (e.g. Giacosa et al., 2002; Hervé et al., 2003; Augustsson et al., 2006; Augustsson & Bahlburg, 2008; Ramos, 2008; Moreira et al., 2012, 2013).

Las edades U-Pb SHRIMP en circones detríticos del basamento de Cerro Negro indican una edad máxima de depositación de  $379 \pm 4$  Ma (Devónico superior). A partir de este resultado, se interpreta que las rocas del basamento de Cerro Negro representan una posición estratigráfica más joven que la de la Formación La Modesta (U-Pb SHRIMP  $446 \pm 6$  Ma) en su localidad tipo (~120 km al sureste), y que coincide con las edades más viejas del CMAO (~330 y ~385 Ma) y sus unidades equivalentes (Fig. 2.3).

La ausencia de edades devónicas hacia el sureste del distrito Cerro Negro sugiere que el cierre de la cuenca de la Formación La Modesta (en su localidad tipo) ha tenido lugar durante el Devónico inferior (Moreira et al., 2013); sin embargo, es importante mencionar que estas edades no se pueden descartar por completo para la Formación La Modesta ya que se requieren más estudios de otras áreas más allá de su localidad tipo.

Por otra parte, la litología y estructura descripta para la muestra de Cerro Negro coincide principalmente con la de la Formación La Modesta en el área El Tranquilo-La Bajada (ver Moreira et al., 2012).

Hervé et al. (2005) reportan edades devónicas tardías en circones detríticos de los metasedimentos de las Formaciones Esquel y Cushamen, ubicadas en la porción suroeste del Macizo de Somún Cura (U-Pb SHRIMP ~335-372 Ma) ubicado en la porción norte de Patagonia. Estos autores correlacionan estas unidades con las unidades equivalentes al CMAO, y proponen una fuente común de aporte, y que se han depositado en una misma cuenca, aunque las primeras muestran un mayor grado metamórfico (facies anfíbolita). Estas unidades también preservan circones detríticos de edad devónica a carbonífera inferior que tienen como probable fuente a las rocas magmáticas del Paleozoico inferior de Patagonia.

No hay hasta el momento información sobre la edad del metamorfismo de las rocas del basamento Cerro Negro. Sin embargo, sobre la base de las edades de metamorfismo

propuestas para el CMAO por Thompson & Hervé (2002) y Augustsson et al. (2006), el principal evento metamórfico debe haber ocurrido antes del Pérmico. Estos datos son consistentes con las edades carboníferas a pérmicas inferiores propuestas por Hervé et al. (2005) para las unidades equivalentes localizadas en el suroeste del Macizo de Somún Cura.

#### 2.4.1.2. Proveniencia

Los picos más prominentes encontrados en los circones detríticos de la muestra de Cerro Negro revelaron una edad devónica inferior. La posible fuente de aporte para estas edades corresponde a los granitoides más jóvenes del Complejo Río Deseado en el Macizo del Deseado (El Laurel,  $395 \pm 4$  Ma; Bahía Laura,  $393 \pm 2$  Ma; Fig. 2.3) que forman parte del “Arco Magmático Occidental” definido por Ramos (2008). Edades devónicas también han sido registradas a lo largo de este arco magmático en el norte de la Patagonia (Varela et al., 2005; Pankhurst et al., 2006) incluyendo a los granitos Colan Conhué ( $394 \pm 4$  Ma) y Lago Lolog ( $395 \pm 4$  Ma) datados por Pankhurst et al. (2003). Estos autores además proponen un importante cinturón de granitoides de tipo S de edad devónica que se extendería desde el norte de la Patagonia hasta la Península Antártica donde existen edades equivalentes.

El segundo pico indica edades del Ordovícico superior al Silúrico de  $\sim 444$  Ma y  $\sim 430$  Ma. Estos circones podrían provenir de las rocas plutónicas del Complejo Río Deseado como el granito Dos Hermanos ( $450 \pm 6$  Ma); el granito El Sacrificio ( $425 \pm 4$  Ma) y los diques graníticos Tres Hermanas ( $423 \pm 3$  Ma). El tercer pico de  $\sim 473$  Ma coincide con el pico más prominente de la Formación La Modesta que podría ser la posible fuente de aporte de edad Ordovícica para el basamento de Cerro Negro. Moreira et al. (2013) sugieren que las fuentes más favorables deberían ser las rocas magmáticas que aparecen como clastos del conglomerado pérmico y los granitos de edad Ordovícica media a superior del Complejo Río Deseado, así como también las rocas plutónicas del Macizo de Somún Cura. Debido a esto, estas fuentes también podrían haber aportado circones ordovícicos-silúricos al basamento de Cerro Negro.

Los picos menores remanentes, de edades cámbricas a neoproterozoicas (503, 595 y 746 Ma); mesoproterozoicas (1153 y 1397 Ma), y paleoproterozoicas a arqueanas (1874 y 2543 Ma) podrían interpretarse como circones heredados provenientes de los basamentos del este del Macizo del Deseado. Estos circones antiguos también han sido reconocidos en la porción norte de Patagonia y en los metasedimentos del CMAO, lo que indicaría una extendida fuente de aporte del SO de Gondwana para estas cuencas (ver González et al.,

2002, 2011; Pankhurst et al., 2006; Naipauer et al., 2010; Varela et al., 2011; Uriz et al., 2011; Chernicoff et al., 2013; Ramos et al., 2013).

Los resultados geoquímicos obtenidos son comparados en la figura 2.5 con la geoquímica de la Formación La Modesta (Moreira et al., 2013) y CMAO (Augustsson & Bahlburg, 2008). Las rocas analizadas revelan que la cuenca de Cerro Negro ha recibido elevadas cantidades de material ígneo y de material reciclado de fuentes cercanas, y que se trataría de sedimentos que han sufrido pocos procesos de reciclaje.

#### 2.4.1.3. Ambiente Geotectónico

El patrón de distribución de las edades de los circones detríticos de los metasedimentos es una herramienta muy útil para determinar el ambiente tectónico de la cuenca en la que se han depositado sus protolitos. La dispersión de las edades está directamente relacionada con la naturaleza de la fuente de aporte y con el área de influencia, como son áreas cratónicas capaces a aportar una mayor variedad de edades (Cawood et al., 2012).

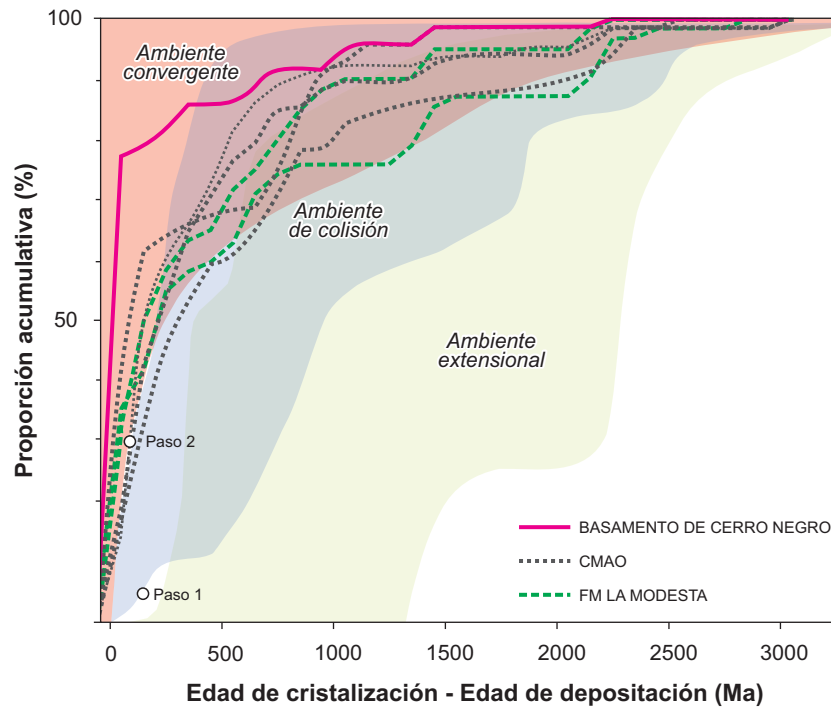
Las rocas estudiadas presentan un patrón de distribución unimodal con un pico mayor cerca de la máxima edad de depositación estimada, lo que probablemente refleje características de cuencas de antearco y trinchera, de acuerdo al esquema propuesto por Cawood et al. (2012). Por otra parte, estos autores proponen un diagrama de discriminación de ambientes tectónicos basados en la diferencia entre la edad de cristalización medida (EC) del grano de circón detrítico y la edad de depositación (ED) de la sucesión de la cual es parte. El basamento de Cerro Negro muestra un patrón de circones detríticos que coincide con un ambiente convergente con una alta proporción de circones ( $> 50\%$ ) con edades cercanas a la ED (Fig. 2.16). Comparando este patrón con los correspondientes a las rocas de la Formación La Modesta (Moreira et al., 2013) y CMAO (Hervé et al., 2003; Augustsson & Bahlburg, 2008), estos últimos tienen también una tendencia a un ambiente convergente, pero con una alta proporción de EC antiguas con respecto a la ED (Fig. 2.16).

Estos resultados conducen a proponer la hipótesis de un ambiente tectónico de antearco o antepaís para las rocas del basamento de Cerro Negro durante el Devónico, que posteriormente se acretaron al margen SO de Gondwana. Asimismo, los resultados geoquímicos también apoyan esta hipótesis, gran parte de los valores obtenidos en elementos trazas sugieren un margen continental de tipo arco de islas, similar al que Moreira et al.

(2013) proponen para la Formación La Modesta pero durante el Ordovícico, mientras que el CMAO presenta una signatura geoquímica más compleja (Fig. 2.16).

Sin embargo, hay que tener en cuenta algunas consideraciones, como por ejemplo la posición del arco magmático durante el Devónico. Pankhurst et al. (2003) proponen una posible continuación del magmatismo devónico del norte de la Patagonia en el Macizo del Deseado. Estos autores también mencionan que la falta de datos geoquímicos para esta suite magmática no permite la definición del ambiente tectónico, sin embargo algunas edades modelos  $\epsilon\text{Ndt}$  y  $\text{Sm/Nd}$  sugieren un ambiente de subducción relacionada con un arco magmático. Además, Guido et al. (2005) interpreta al Granito Bahía Laura como un granito post-colisional. Augustsson & Bahlburg (2008) estudiaron al CMAO en términos de proveniencia y concluyen que en la porción norte del CMAO ( $\sim 48^\circ\text{S}$ ), los metasedimentos (con edades depositacionales devónicas a carboníferas) derivan de rocas madres metasedimentarias de un arco magmático en evolución. Finalmente, los datos disponibles muestran que la posible fuente de aporte ígnea de edad devónica para el basamento estudiado estaría localizada al menos a 200 a 250 kilómetros de distancia de la cuenca (Fig. 2.3). Para esta distancia, debería esperarse una mayor proporción de núcleos de cristales y/o cristales redondeados o rotos como aporte a la cuenca donde se depositaron los protolitos de Cerro Negro. De esta manera, una posibilidad podría ser una posición cercana del depocentro de estas rocas con respecto a un arco devónico, ahora posiblemente escondido por debajo de la extensa cubierta volcánica jurásica del Chon Aike. Esta hipótesis podría ser sustentada por algunas menciones de fragmentos de basamento no aflorante en esquistos y granitoides de edad desconocida y/o como clastos o enclaves dentro de ignimbritas jurásicas o lavas intermedias localizadas en la parte central del Macizo del Deseado (Echeveste et al., 2001; Páez et al., 2010).

Otra hipótesis podría ser la deposición selectiva en el depocentro de Cerro Negro, a través de algunas vías importantes, de circones derivados de arco, mientras que importantes fuentes cratónicas retrabajadas alimentaron la porción norte del CMAO y sus unidades equivalentes, del mismo modo que describen Korsch et al. (2009) para el orógeno de New England (Australia). Nuevos análisis de circones detríticos deberían llevarse a cabo en los demás afloramientos conocidos de basamento en el Macizo del Deseado con el objetivo de comprobar esta hipótesis.



**Figure 2.16:** Diagrama que representa la proporción acumulativa de circones en función de la diferencia entre la edad de cristalización (EC) y la edad de deposición (ED) de los circones (modificado de Cawood et al., 2012). Ambientes extensionales (incluyendo ambiente intracratónico) tienen EC – ED mayores que 150 Ma en el 5% de los circones más jóvenes (paso 1), y todos los ambientes convergentes tienen EC – ED menores a 100 Ma en el 30% de circones (paso 2). Datos del CMAO tomados de Augustsson et al. (2006) y Hervé et al. (2003) y datos de la Formación La Modesta tomados de Moreira et al. (2013).

## **2.4.2. Vulcanismo Jurásico**

### **2.4.2.1. Evolución del vulcanismo**

El oeste del distrito Cerro Negro está caracterizado por una secuencia volcánica Jurásica que hacia el extremo este desarrolla espesores que superan los 400 metros. En la figura 2.17 se presenta una síntesis de las principales unidades descriptas.

En función de los estudios realizados, el vulcanismo del área puede ser dividido en dos grandes ciclos temporal y composicionalmente diferenciables.

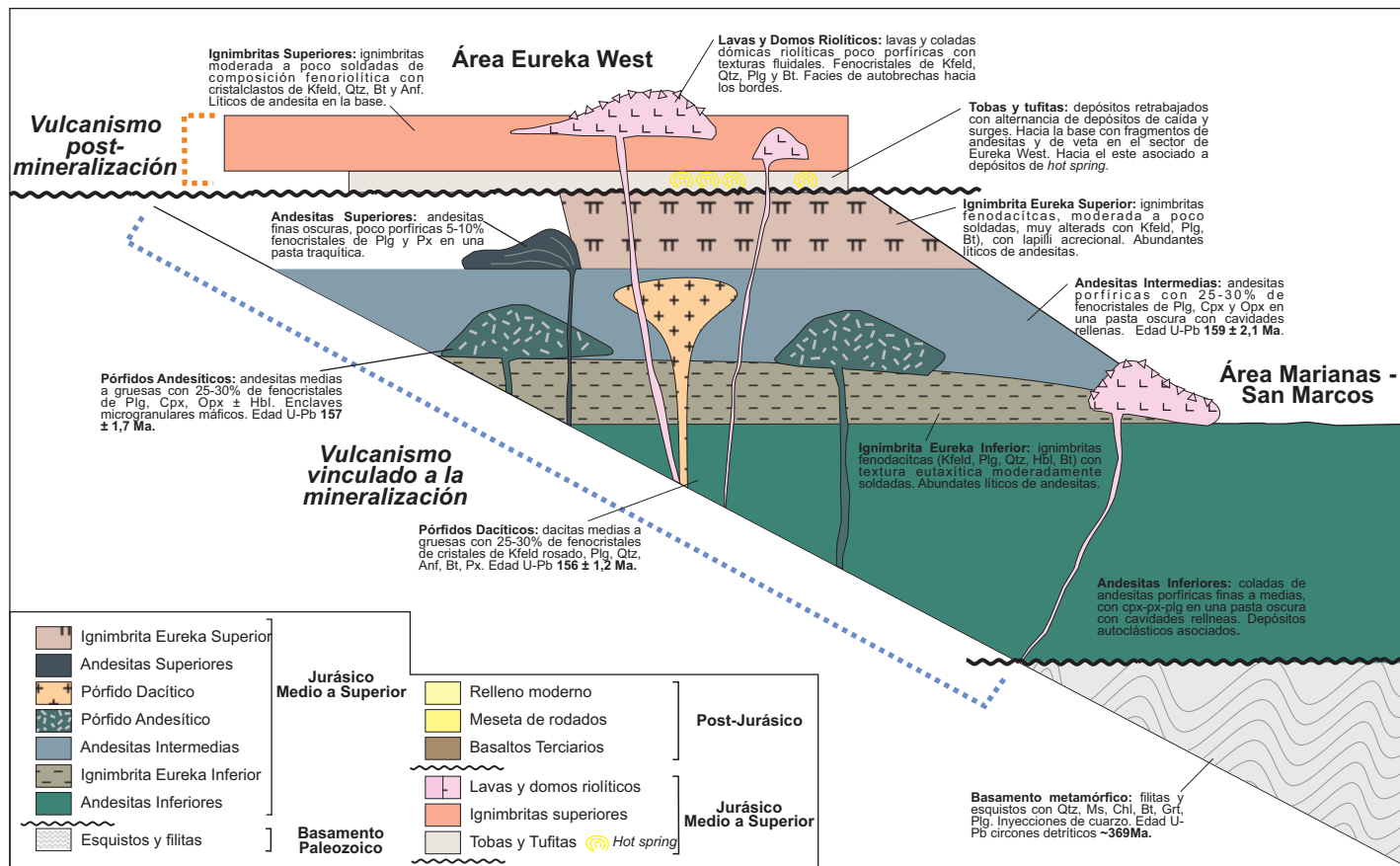
Un ciclo inicial que se agrupa en la Sección Inferior y se asigna a la Formación Bajo Pobre del CVBL. Representado por intercalaciones de lavas y niveles piroclásticos de flujo de composiciones andesíticas a dacíticas. Asociadas en sus últimas etapas a un conjunto de cuerpos intrusivos subvolcánicos de similares composiciones. Todas estas unidades están relacionadas genéticamente a través de un tren evolutivo co-magmático de composiciones mayormente intermedias (Figs. 2.15, 2.17) y se interpreta que formarían parte de un aparato volcánico de naturaleza poligenética y posiblemente de larga vida (>3 Ma, López, 2006).

Con posterioridad, se desarrolla un ciclo tardío agrupado en la Sección Superior, y que se asigna a las formaciones Chon Aike y La Matilde del CVBL, caracterizado por una secuencia mayormente ácida formada por tobas y tufitas, ignimbritas y domos extrusivos de composiciones riolíticas, que no muestran una relación co-magmática con las unidades previas (Figs. 2.15, 2.17). Esta parte de la secuencia marca una declinación en la frecuencia del vulcanismo, que se desarrolla de manera más episódica y relacionada a la evolución de complejos de domos, posiblemente vinculados a un vulcanismo de naturaleza mayormente monogenética.

La presencia de una importante discordancia separando ambos ciclos volcánicos (Fig. 2.17) conjuntamente con el desarrollo de extensos niveles de retrabajamiento (Tobas y Tufitas), estaría marcando una importante pausa en el vulcanismo hacia el final de la evolución de la Sección Inferior.

### **2.4.2.2. Relación del vulcanismo con las mineralizaciones**

En cuanto a la relación de este vulcanismo con las mineralizaciones de alta ley de Au-Ag (Sistemas Marianas-San Marcos y Eureka), y en base a las relaciones de campo observadas, donde las estructuras mineralizadas de alta ley se encuentran erosionadas e incluidas como clastos dentro de los depósitos iniciales de la Sección Superior, se puede



**Figura 2.17:** Panel estratigráfico esquemático del sector estudiado, con las principales unidades del oeste del distrito Cerro Negro. Los espesores de las unidades son relativos.



concluir que el hidrotermalismo responsable de estas mineralizaciones se inició en estrecha vinculación con las etapas terminales del vulcanismo andesítico/dacítico de la Sección Inferior (vinculado posiblemente a los cuerpos subvolcánicos más jóvenes). Esta actividad hidrotermal se habría prolongado también durante el intervalo de tiempo representado por la discordancia y los depósitos de Tobas y Tufitas (evidenciado por la presencia de depósitos de *hot-spring* asociados), y habría finalizado con anterioridad al inicio del ciclo volcánico riolítico, representado en la Sección Superior, que por este motivo es considerado post-mineral (Fig. 2.17).

La presencia de unidades post-minerales jurásicas (pertenecientes a la Fm. Chon Aike, CVBL) sumadas a la vinculación genética entre las mineralizaciones de alta ley y el vulcanismo andesítico (asignable a la Fm. Bajo Pobre, CVBL), hacen del Distrito Cerro Negro un caso atípico dentro del espectro de depósitos epitermales definido para el Macizo del Deseado. De esta manera, las observaciones presentadas son de importancia como herramienta de exploración en otros sectores del Macizo del Deseado, ya que depósitos de alta ley podrían estar ocultos debajo de unidades jurásicas post-minerales.

## **Capítulo 3:**

### **Características metalogenéticas del extremo noroccidental de la veta Eureka, Macizo del Deseado, Argentina.**

#### **3.1. Introducción**

Numerosos trabajos han abordado la temática de los procesos supergénicos en depósitos de tipo pórfido y sistemas de alta sulfuración (e.g. Sillitoe, 2005). Dichos fenómenos son muy importantes desde el punto de vista de económico ya que favorecen sustancialmente su metalurgia, permitiendo en muchos casos que estos depósitos sean rentables. En sistemas epitermales de baja sulfuración, los procesos supergénicos son comunes pero restringidos por la baja cantidad de sulfuros en la mena (1-10%). Existen pocos ejemplos que aborden esta temática, sobre todo cuando estos procesos afectan a los metales preciosos. Los depósitos epitermales que se destacan por procesos supergénicos son Morning Star (USA), Pongkor (Indonesia), Nazareño y Shila Paula (Perú), y Broken Hill (Nueva Zelanda) entre otros (Barton et al., 1978; Sheets et al., 1995; Greffie et al., 2002; Warmada et al., 2003; Chauvet et al. 2006; Cocker et al., 2013).

Eureka West ocupa el extremo noroccidental de la principal estructura del distrito Cerro Negro (5 km de longitud de rumbo NO), se encuentra alojada en una falla principal, y está conformada por múltiples pulsos y episodios mineralizantes con predominio de bandeados crustiformes-coloformes de calcedonia, cuarzo, adularia, carbonatos, y brechas de óxidos tardías a ambos lados de la estructura principal. Las texturas reconocidas, mineralogía de mena y ganga, y la alteración hidrotermal permiten clasificarla como una veta epitermal de baja sulfuración con algunas características de sulfuración intermedia (Sillitoe, 1989, 1993; White & Hedenquist, 1995; Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003; Sillitoe & Hedenquist, 2003).

En este capítulo se describen y caracterizan en detalle, los principales episodios y pulsos mineralizantes de la veta Eureka West, analizando sus características mineralógicas, texturales, geoquímicas, cómo también el origen (isótopos estables) y propiedades (composición, temperatura y salinidad) del fluido mineralizante y se interpretan los procesos que permitieron la precipitación de los metales. Además se aborda la relación temporal con el vulcanismo mediante una datación  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  del episodio mineralizante principal.

### 3.2. Metalogénesis del Macizo del Deseado

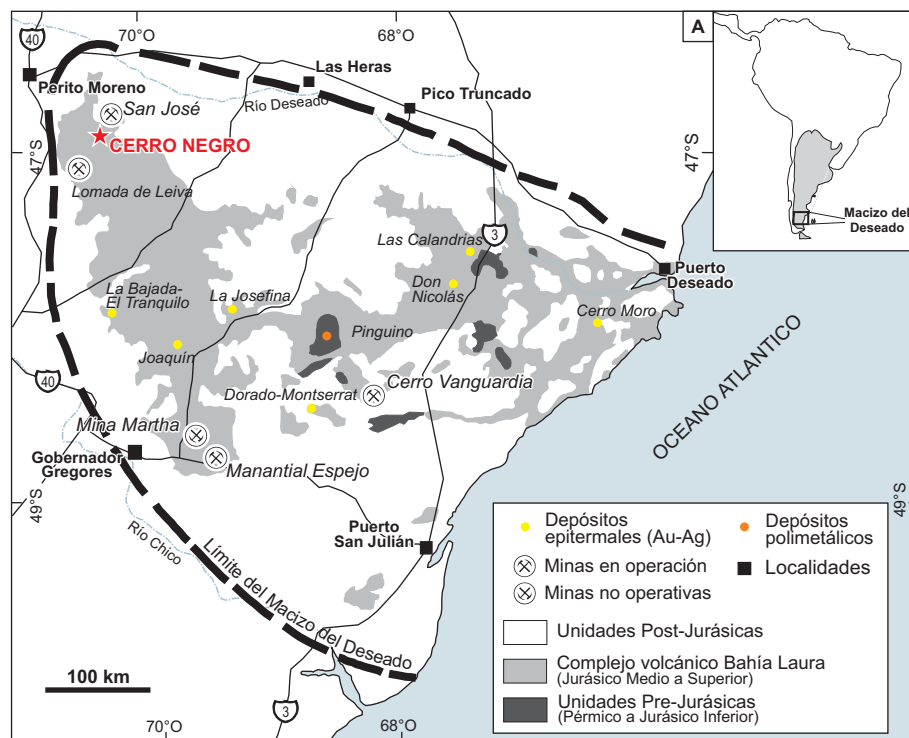
El Macizo del Deseado ha sido intensamente explorado por metales preciosos durante los últimos 30 años. En la actualidad, existen más de 50 proyectos epitermales de Au-Ag en distintas etapas de exploración, 3 minas activas (Cerro Vanguardia, San José y Manantial Espejo), una mina que lixivia mineral en pilas (Lomada de Leiva), una mina en etapa de cierre (Martha) y dos minas en etapas de construcción (Cerro Negro y Cerro Moro, Fig. 3.1). La producción desde 1998 hasta 2012 inclusive alcanza las 3,9 Moz de Au y 87,5 Moz de Ag (Tabla 3.1).

Las mineralizaciones, corresponden mayormente a vetas y brechas de cuarzo con Au y Ag de intermedia a baja sulfuración y numerosas ocurrencias de depósitos de *hot spring*. Estos están vinculados a un megaevento volcánico-hidrotermal Jurásico medio a tardío, dando origen al término Provincia Auroargentífera del Deseado (Shalamuk et al., 1999). De manera restringida se mencionan depósitos de tipo vetas polimetálicas de sulfuros y pórfidos subeconómicos vinculados al magmatismo Jurásico inferior (Márquez, 1994; Jovic et al., 2011).

La mayoría de las manifestaciones epitermales están conformadas por vetas, brechas y *stockworks* de rumbo predominante NO y en menor media NE y E-O. Las mismas se caracterizan por presentar rellenos multiepisódicos de minerales del grupo de la sílice (cuarzo, calcedonia y ópalo), calcita, adularia, baritina, fluorita y ceolitas. Las texturas de cuarzo son en general masivas, brechosas, bandeados crustiformes, coloformes, cocardas, texturas en peine y reemplazos. Los minerales metalíferos son escasos (1% en volumen) y están representados principalmente por pirita, oro nativo, electrum, argentita, plata nativa, sulfosales de Ag, hematita, escasos sulfuros de metales base (esfalerita, galena, calcopirita) y algunos minerales secundarios (óxidos, hidróxidos y halogenuros de Ag).

La alteración hidrotermal está normalmente restringida a las vetas y está representada por silicificación, argilización (illita, esmectita y caolinita), sericitización y propilitización. La asignatura geoquímica es típica de depósitos epitermales, con anomalías en metales preciosos (Au-Ag) y otros elementos como As, Sb, Hg, Mo, Ba y Mn. La relaciones Ag:Au son en su mayoría > 20:1 (Tabla 3.1).

En cuanto a la composición del fluido la mayoría de los sistemas se caracterizan por composiciones H<sub>2</sub>O-NaCl (KCl) neutrales a ligeramente neutras con salinidades de 0,18 hasta 8% NaCl eq., y con temperaturas <100 hasta 320°C. Los datos isotópicos de oxígeno fluido



**Figura 3.1:** Mapa geológico del Macizo del Deseado con la ubicación del distrito Cero Negro.

**Tabla 3.1:** Depósitos productores de Au-Ag del Macizo del Deseado

Depósito	Inicio de producción	Producción			Tipo	Minerales de mena	Minerales de Ganga	Roca de Caja	Edad
		Au (Moz)	Ag(Moz)	Ag/Au					
Cerro Vanguardia <sup>1</sup>	1998	3,337	21,466	6	Vetas epitermales de Au-Ag	-	Qtz + Ad	Ignimbritas riolíticas	155-153 Ma
Martha <sup>2</sup>	2001	0,031	23,908	776	Vetas epitermales de Ag	Ag, sulfoales de plata, Py, Sph, Gl	Adu + Qtz + Ill	Ignimbritas riolíticas	156 Ma
San José <sup>3</sup>	2008	0,379	27,072	71	Vetas epitermales de Ag-Au	El, Py, Sph, Gln, Cpy, sulfosales de Ag	Qtz + Ad + Chl + Ill	Lavas andesíticas	151 Ma
Manantial Espejo <sup>4</sup>	2009	0,231	15,148	66	Vetas epitermales de Ag-Au	Py, Sph, Gln, Cpy, Tt, Ac, sulfosales de Ag y El	Qtz + Ad	Ignimbritas e intrusivos andesíticos	156-153 Ma
Lomada de Leiva <sup>5</sup>	2010	0,003	-	-	Brechas asociadas a fallas	-	-	Ignimbritas riolíticas	-

**Referencias:** Ad: adularia; Ac: acantita; Au: oro; Ag: plata; Cpy: calcopirita; El: electrum; Gln: galena; Ill: illita; Py: pirita; Qtz: cuarzo; Sph: esfalerita; Tt: tetraedrita.

<sup>1</sup>Fernández et al. (2008); [www.anglogold.com](http://www.anglogold.com)

<sup>2</sup>Páez et al. (2008); [www.coeur.com](http://www.coeur.com)

<sup>3</sup>[www.minerasantacruz.com](http://www.minerasantacruz.com)

<sup>4</sup>[www.panamericansilver.com](http://www.panamericansilver.com)

<sup>5</sup>[www.patagoniagold.com](http://www.patagoniagold.com)

medidos en cuarzo van de -10 hasta +6 indicando una componente meteórica principal, mientras que los valores de S varían entre -2,5 hasta +5 indicando una fuente magmática para el azufre (Guido & Schalamuk 2003; Schalamuk et al., 2005; Jovic et al., 2011).

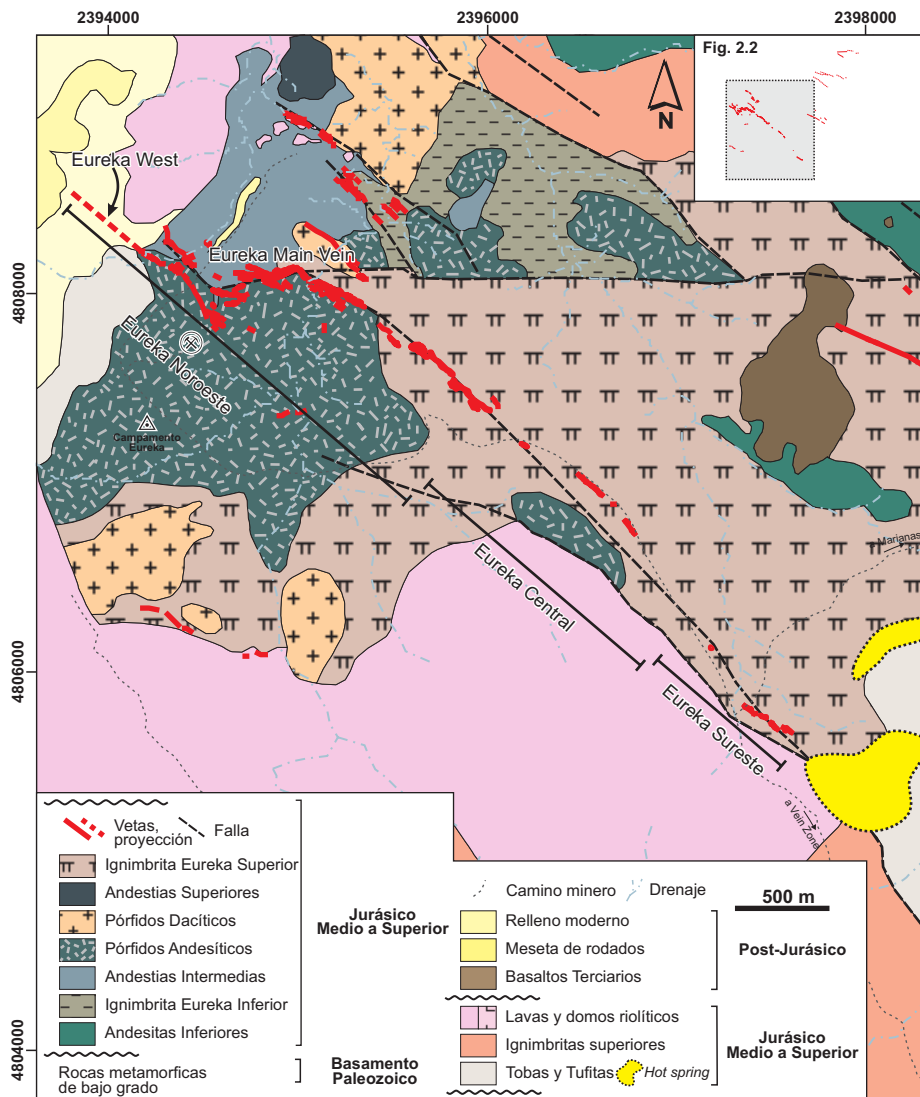
### 3.3. Características generales de la veta Eureka

La veta Eureka es la estructura mineralizada más imponente en el Macizo del Deseado, con una corrida de casi 5 km y espesores que alcanzan los 20 metros. Está emplazada a lo largo de una falla principal de rumbo ONO (N300° a N310°) e inclinación subvertical a SSO y de cinemática normal-sinistral. López (2006) reconoce la división de la estructura en 3 segmentos principales basado en sus principales características mineralógicas, texturales, geoquímicas, estructurales y geológicas (Fig. 3.2).

En el segmento sureste, la veta se emplaza en depósitos de caída e ignimbritas (unidades Ignimbrita Eureka Superior e Ignimbrita Superior), y depósitos lacustres silicificados con varias facies de depósitos de travertinos en un ambiente de *hot spring* (Guido & Campbell, 2012). En este sector la veta aflora como una red de vetillas angostas (de centímetros a decímetros) entrecruzadas, con predominio de texturas brechosas y rellenos de cuarzo de baja temperatura.

El segmento central se aloja sobre la Ignimbrita Eureka Superior y comprende a dos o tres ramas de 1 a 4 m de potencia y con texturas brechosas.

En el segmento noroeste, la estructura se aloja en el Pórfido Andesítico hacia el bloque alto y en una secuencia compuesta por la Ignimbrita Eureka Inferior, Andesitas Intermedias y Pórfidos Dacíticos hacia el bloque bajo. Está compuesta por un cuerpo de veta principal de hasta 25 m de potencia de rumbo NO con zonas de transferencia extensionales E-O. Este segmento incluye dos sectores principales: Eureka Main Vein y Eureka West. Este último comprende el extremo noroccidental donde la estructura es cubierta por depósitos postminerales. En este sector, la veta comprende dos ramas principales separadas por vetillas, que alcanzan los 20 metros de potencia, con una inclinación de 80° a 90° en niveles someros disminuyendo en profundidad. Eureka West se caracteriza por sucesivos pulsos mineralizantes donde predominan las texturas bandeadas crustiformes-coloformes de calcedonia, cuarzo, adularia y carbonatos, que indican un aumento de la paleo-profundidad respecto de los segmentos central y sureste (López, 2006).



**Figura 3.2:** En recuadro, ubicación del área detallada respecto de la figura 2.2. En detalle el mapa geológico de la veta Eureka.

Eureka West representa ~25% del total de recursos del distrito con reservas de 4,57 Mt con 11,27 g/t Au y 144,6 g/t de Ag totalizando unas 1,65 Moz de Au y 21.5 Moz de Ag (ver Tabla 1.1), siendo la principal reserva de plata del distrito. Este es el sector que se ha estudiado en detalle en este capítulo.

### **3.4. Eureka West**

#### **3.4.1. Episodios y pulsos mineralizantes**

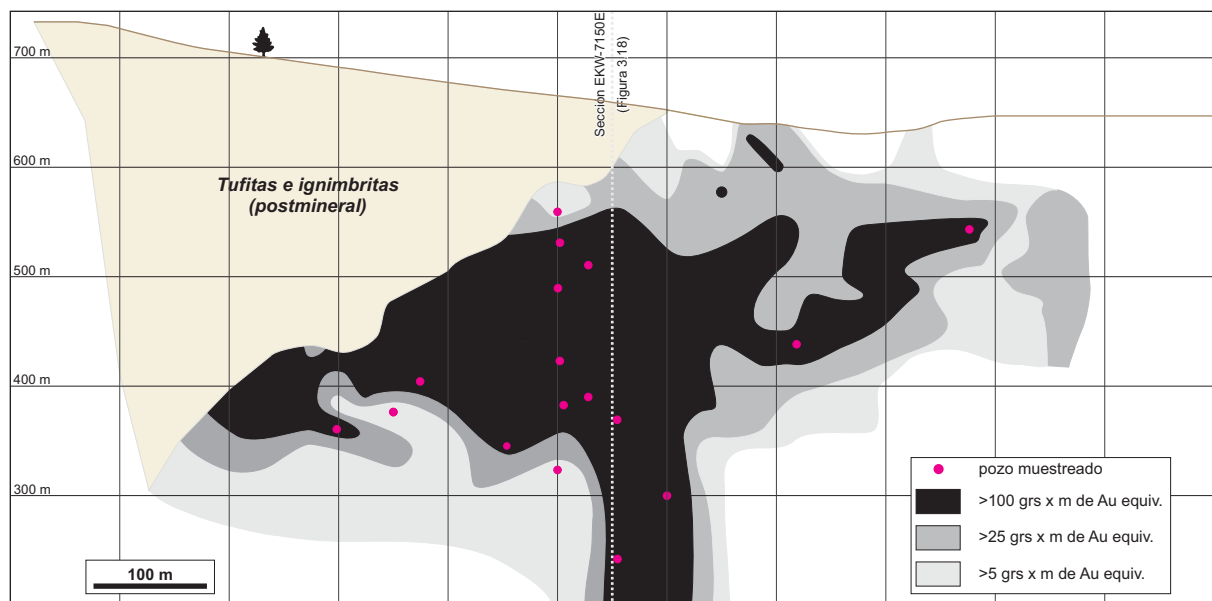
Para definir los episodios y pulsos mineralizantes presentes a lo largo y en profundidad de Eureka West, se describieron en detalle los testigos de 17 perforaciones y se tomaron 110 muestras representativas (Fig. 3.3) , que han sido empleadas en diferentes técnicas que incluyeron petrografía (minerales de mena y opacos), RX (arcillas); microscopio electrónico SEM-EDS (minerales de mena y de ganga); microsonda electrónica (minerales de mena) con el fin de caracterizar cada pulso textural y mineralógicamente. Toda la información integrada permitió elaborar un diagrama paragenético compuesto por 6 pulsos agrupados en 4 episodios mineralizantes principales (Fig. 3.4).

El primer episodio (E1), aporta los mayores valores de Au y Ag. Está conformado por 2 pulsos con predominio de texturas de relleno bandeadas y brechas desarrolladas hacia el bloque bajo de la estructura y preferentemente en profundidad (Fig. 3.5). Los bandeados están compuestos por cuarzo con variadas texturas de recristalización y de reemplazo, adularia, carbonatos de Ca, de Fe-Mn y sulfuros (Figs. 3.4, 3.6). Por su parte, las brechas se caracterizan por presentar abundantes cavidades y clastos tabulares ricos en sulfuros. La mineralización hipogénica es restringida y se encuentra a partir de los 350 metros de profundidad en bandas coloformes ricas en sulfuros.

El segundo episodio (E2) está conformado por 2 pulsos que ocupan entre un 70 a 75% del total de la estructura (Fig. 3.4). Consiste en rellenos bandeados coloformes-crustiformes de cuarzo con texturas de recristalización según calcedonia, adularia y cuarzo amatista (Figs. 3.5, 3.7 A-D). En este episodio el contenido de metales decrece producto de la disminución en el contenido de sulfuros dentro del bandeo.

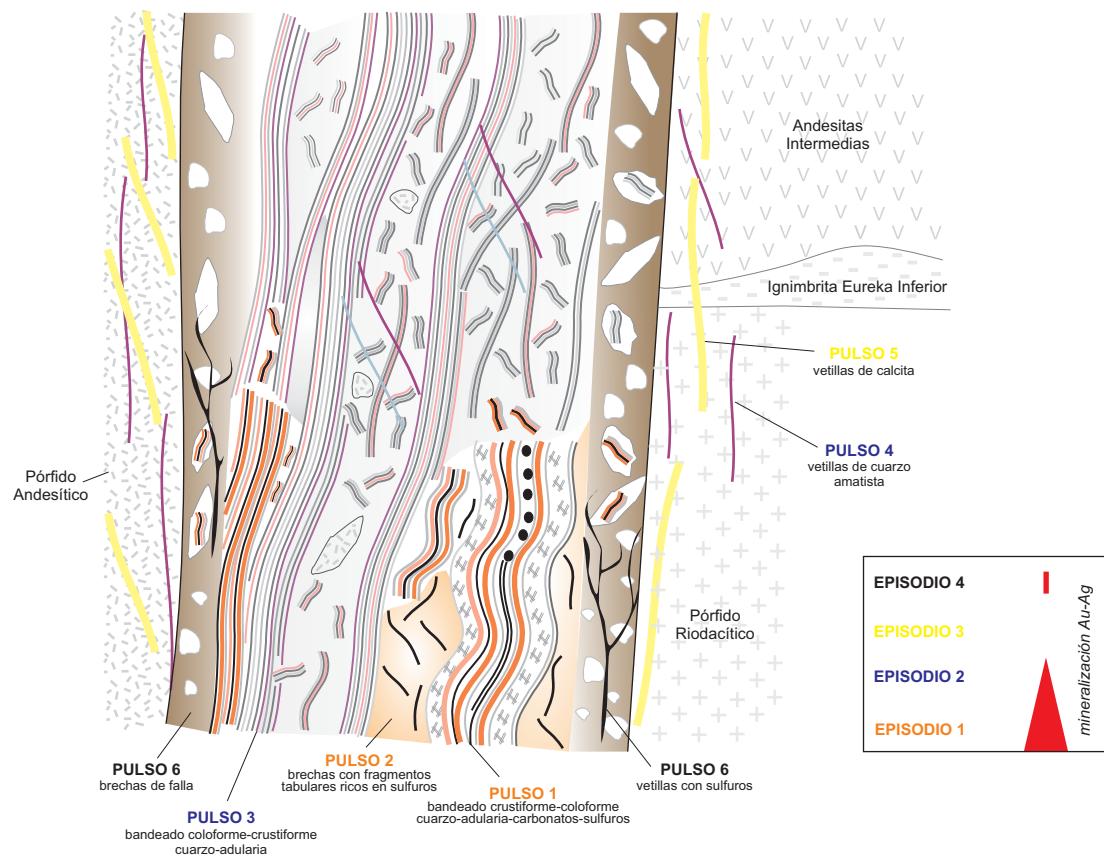
El tercer episodio (E3) está conformado por un pulso principal de amplio desarrollo compuesto por relleno y vetillas de calcita cristalinas sobre los episodios previos y/o cortando a las rocas de caja (Figs. 3.4, 3.5, 3.7E).



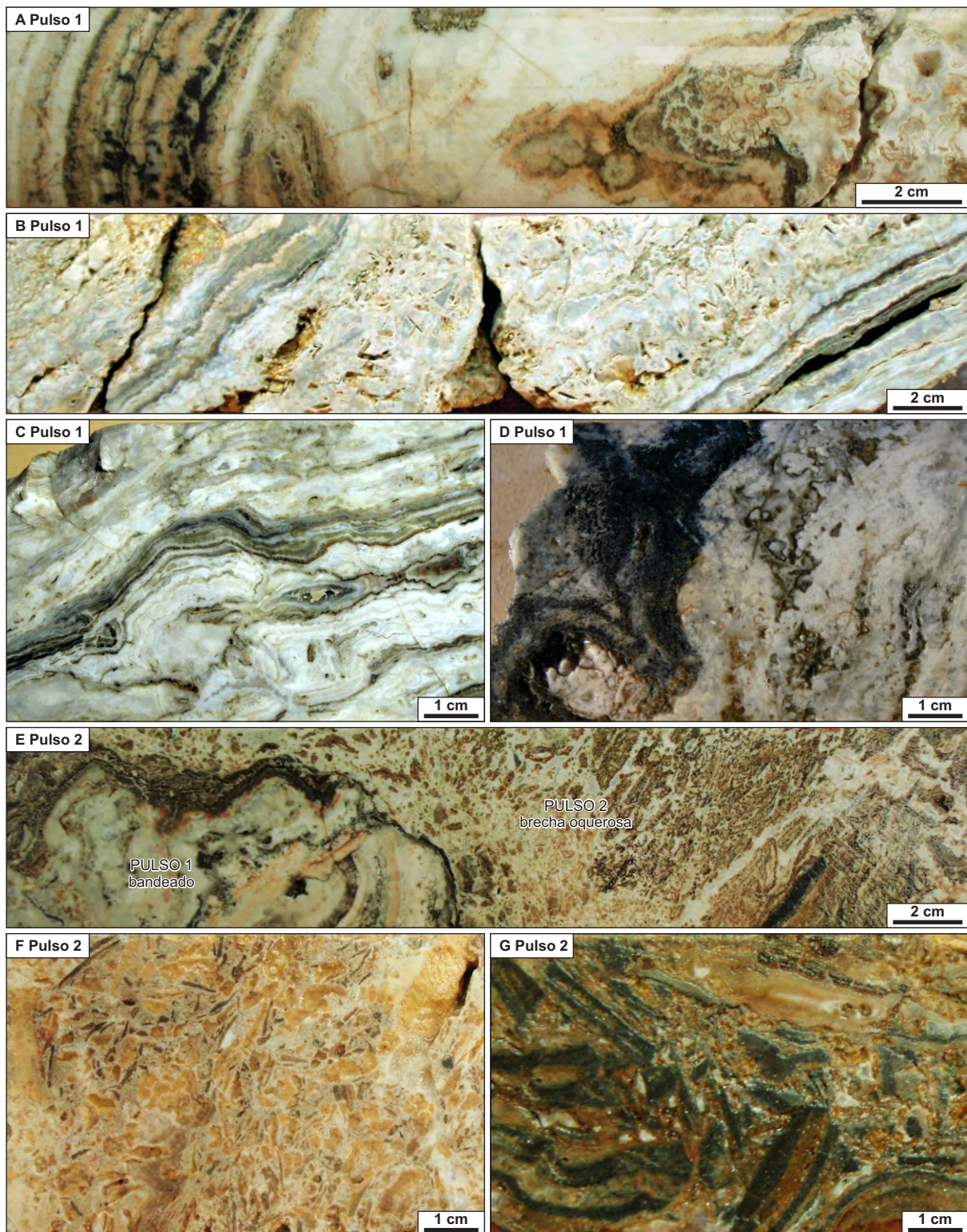


**Figura 3.3:** Sección longitudinal de las veta Eureka West (rama 1.0), con las curvas de distribución de Au equivalente ( $Au+Ag/60$ ) por el espesor, y los pozos muestreados para los estudios realizados.



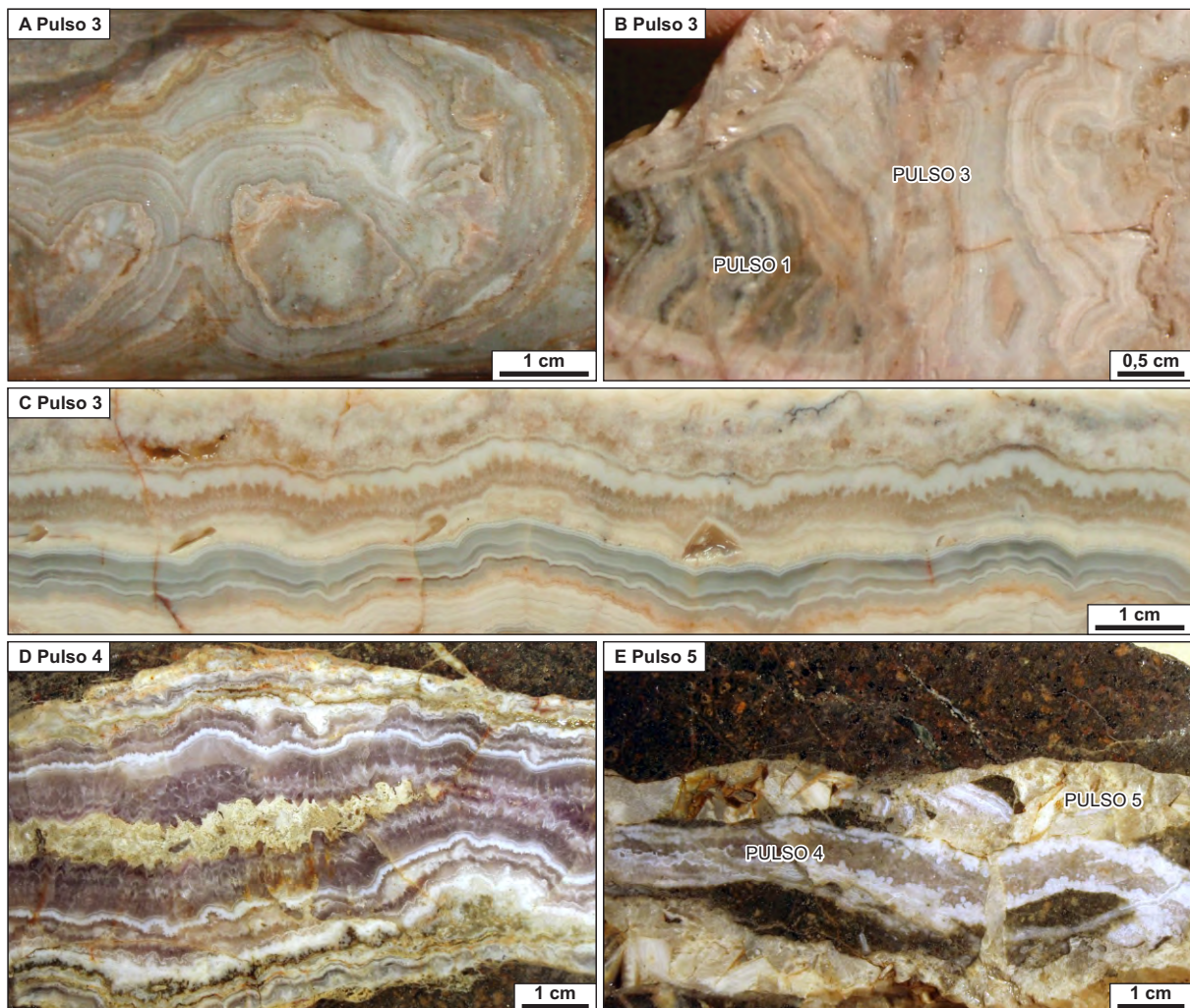


**Figura 3.5:** Dibujo esquemático que muestra de la distribución y características de los episodios y pulsos mineralizantes para Eureka West.

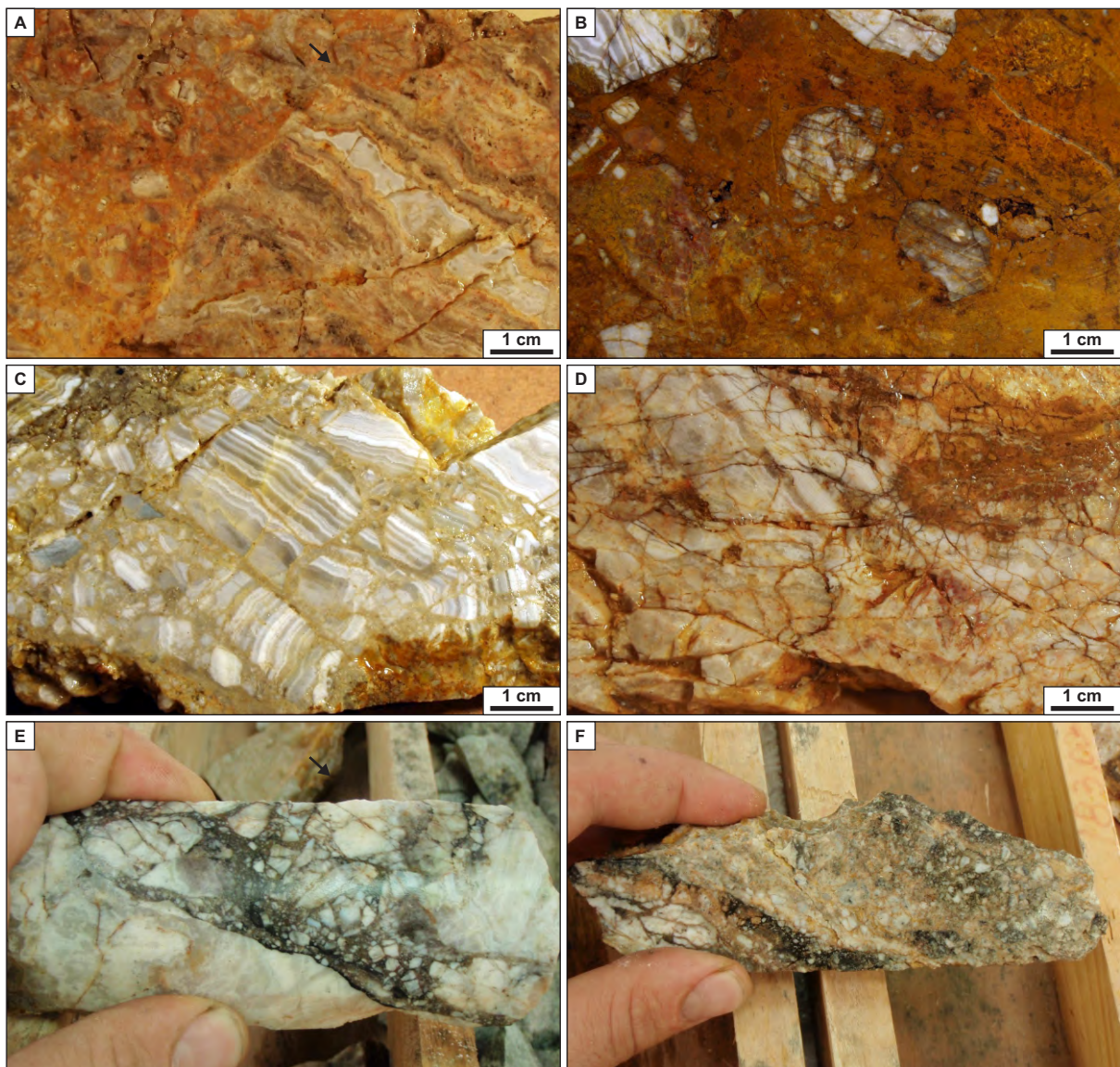


**Figura 3.6:** Fotografías de testigos de perforación de los pulsos correspondientes al episodio mineralizante 1 para Eureka West. **A)** Pulso 1, bandeado crustiforme-coloforme compuesto por la alternancia de bandas gruesas de cuarzo blanco, translúcido y gris (con sulfuros), adularia rosada (izq.), evolucionando hacia finas bandas coloformes de calcedonia y carbonatos marrones (der.) **B)** Pulso 1, vetilla simétrica bandeada con texturas de reemplazo de calcita por cuarzo hacia el centro. **C)** Pulso 1, bandeado coloforme fino de cuarzo, carbonatos y adularia en niveles someros de la veta. **D)** Pulso 1, banda rica en sulfuros en bandeado crustiforme-coloforme de cuarzo, adularia y carbonatos. **E)** Clasto del pulso 1 bandeado en brecha del pulso 2 caracterizada por una brecha con matriz compuesta por un entramado de cuarzo blanco y cavidades, y fragmentos tabulares de cuarzo con abundantes sulfuros (der.). **F)** Pulso 2, detalle de la brecha oquerosa con cavidades rellenas de óxidos. **G)** Pulso 2, detalle de fragmentos tabulares ricos en sulfuros finos y cuarzo.





**Figura 3.7:** Fotografías de testigos de perforación de los pulsos correspondientes al episodio mineralizante 2 y 3 para Eureka West. **A)** Pulso 3, bandeo coloforme-crustiforme de cuarzo, calcedonia y adularia (bandas rosadas). **B)** Pulso 3, detalle de textura en cocarda con fragmentos bandeados del pulso 1. **C)** Pulso 3, bandeo coloforme-crustiforme de calcedonia y cuarzo. **D)** Pulso 4, vetillas bandeadas de calcedonia y cuarzo amatista. **E)** Pulso 5, vetillas de calcita cortando a pulso 4.



**Figura 3.8:** Fotografías de testigos de perforación de los pulsos correspondientes al episodio mineralizante 4 para Eureka West. **A-D)** Pulso 3, Brecha cohesiva de falla con fragmentos bandeados de pulsos previos en una matriz de cuarzo y óxidos de hierro. En las distintas fotografías se muestran diferentes relaciones clasto/matriz. **E-F)** Sectores de la brecha con una matriz oscura rica en sulfuros.



El cuarto episodio (E4) es de característica tectónica-hidrotermal y está compuesto por cuerpos de brechas de falla que se alojan preferentemente hacia los bordes de la estructura principal (Fig. 3.5). Las brechas son matriz sostén, con abundantes clastos de vetas que por sectores aportan elevados tenores de plata, producto de procesos de removilización de este metal cuando está asociado a pulsos previos de alta ley (Figs. 3.4, 3.8).

Finalmente, se reconoce un evento supergénico importante (procesos de oxidación que alcanzan hasta al menos 400 m de profundidad) que modifica parcial y/o totalmente la mineralogía primaria, reemplazándola por una asociación de minerales supergénicos, principalmente de Ag y en menor medida de Cu.

A continuación se detallan las principales características texturales y mineralógicas de cada pulso mineralizante:

### **Episodio 1**

**Pulso 1:** Está caracterizado por un bandeo crustiforme-coloforme compuesto por finas bandas blancas, anaranjadas, marrones y rosadas correspondientes a minerales del grupo de la sílice (cuarzo, calcedonia y amatista tardía) con minerales tabulares/aciculares intercrecidos, adularia, carbonatos (y silicatos) de Ca, Fe-Mn (Figs. 3.4, 3.6 A-C). Dentro del pulso 1 se distingue una disminución en el espesor de las bandas hacia posiciones más someras de la estructura (Fig. 3.6C). Por su parte, los sulfuros son escasos y aumentan su contenido en profundidad (Fig. 3.6D).

Las finas bandas de cuarzo varían en cuanto al tamaño de grano y registran diversas texturas de recristalización como texturas en mosaico, musgosa y esferas fantasmas (*ghost spheres*), llameante y plumoso (Fig. 3.9A, B). En profundidad el tamaño del cuarzo aumenta levemente con texturas en mosaico, intercrecido con carbonatos y por sectores con abundantes sulfuros (Fig. 3.9C).

Frecuentemente, en las bandas de cuarzo se reconocen texturas de reemplazo parcial y/o total de carbonatos como:

- *textura en enrejado*: reemplazo (parcial y/o total) de carbonatos (platycalcita) por cuarzo y/o calcedonia caracterizado por láminas (<1 mm de espesor), conformadas por agregados finos de cuarzo anhedral que se cortan entre sí dejando cavidades poligonales rellenas de cuarzo sacaroide y/o cristales de cuarzo en peine que crecen de manera perpendicular a las láminas (Fig. 3.6B).
- *textura ghost bladed*: reemplazos parciales y/o totales compuestos por agregados finos de cuarzo que crecen según la dirección preferencial de los cristales de platycalcita (Fig.

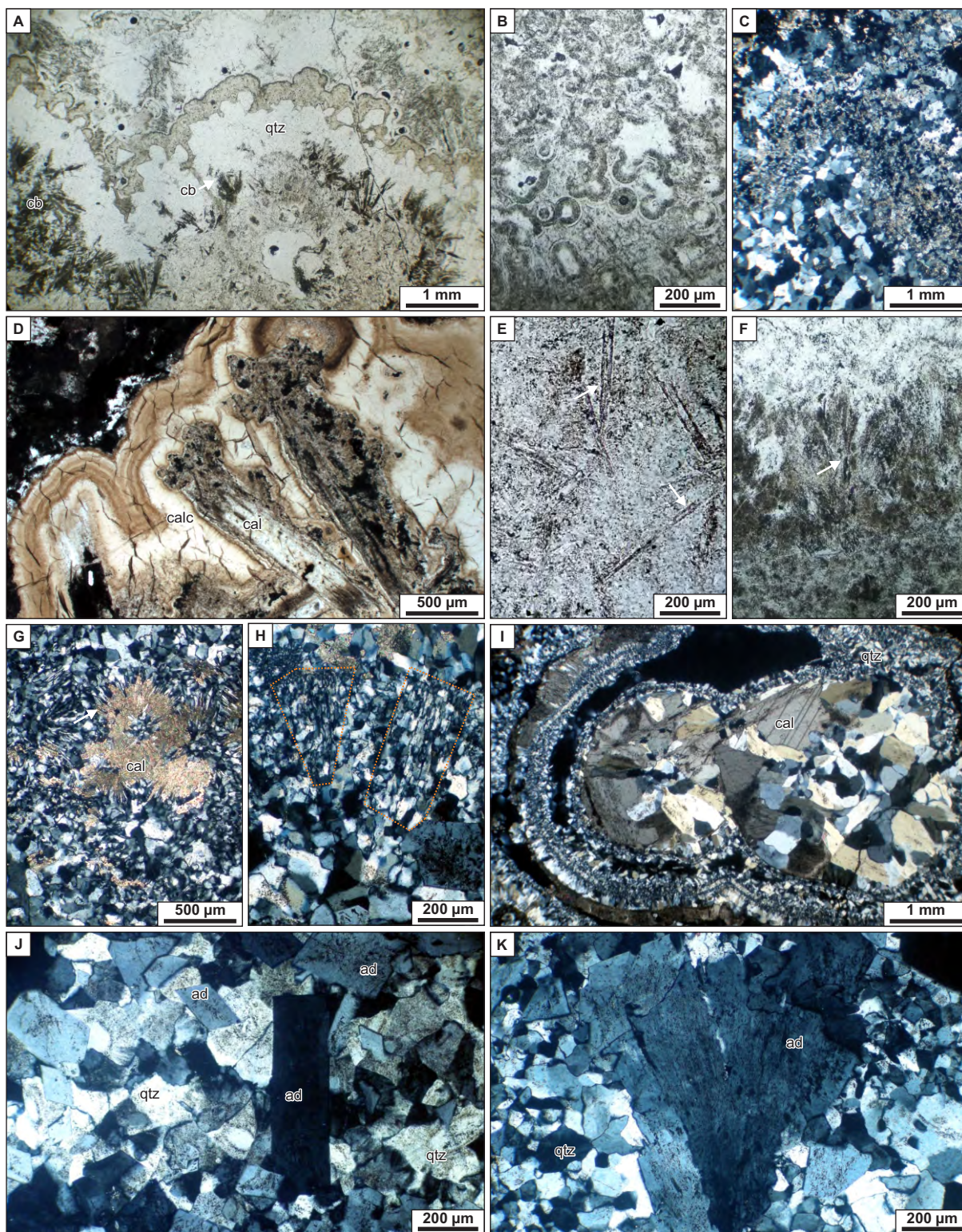
3.9D). Además se incluye dentro de este grupo a un mineral tabular largo de hasta 500  $\mu\text{m}$  por 25-50  $\mu\text{m}$  de espesor, con los extremos truncados como una hoja de un cuchillo, de relieve moderado a alto y birrefringencia baja (Fig. 3.9E). Se presentan aislados y/o como un entramado de cristales con una orientación aleatoria dentro de las bandas y/o en ocasiones radiados, se interpretan como reemplazo de carbonato.

- *textura pseudoacicular*: caracterizada por “ramilletes” de hasta 500  $\mu\text{m}$  de largo de fibras acicular radiadas que crecen de manera perpendicular a la dirección del bandeo. Cada fibra se compone de inclusiones sólidas y/o fluidas sobre una base de cuarzo intercrecido con adularia y sus productos de alteración (arcillas) (Fig. 3.9F). Esta textura presenta una apariencia similar a la textura de reemplazo pseudoacicular producto del reemplazo de calcita por cuarzo-adularia en su variedad acicular parcial y/o totalmente argilizada (Dong & Morrison, 1995).
- *textura esferulítica*: agregados de cuarzo hábito “esferulítico” de 200 a 500  $\mu\text{m}$  de diámetro, con remanentes y/o intercrecimiento de carbonatos (Fig. 3.9G), con lo cual se interpretan como una textura de reemplazo de cuarzo por carbonatos cristalizados a baja temperatura debido a la tendencia a formar agregados “esferulíticos”. Si bien esta textura no se menciona como tal en la bibliografía ejemplos similares se reconocen en el depósito Hishikari (Japón) mencionados por Imai & Uto (2002) como reemplazos de calcita. Otra posibilidad es que se trate de minerales del grupo de las ceolitas.
- *textura en láminas paralelas*: reemplazos totales compuestos por paquetes rectangulares a tabulares de aproximadamente 200 por 100  $\mu\text{m}$ , compuestos por agregados de cristales paralelos de cuarzo de hábito prismático como “septos” alargados en la dirección del lado mayor del agregado (Fig. 3.9H).

De manera frecuente alternan bandas coloformes/botroidales ricas en carbonatos y cuarzo en sus variedades de calcedonia fibrosa, llameante (radial y subesférica), en mosaico y microplumoso. Los carbonatos corresponden a calcita de aspecto granular cristalino, y carbonatos de Fe-Mn (siderita-rodocrosita) de aspecto masivo, botroidales, plumosos y tabulares posiblemente correspondientes a reemplazos silicatos de Mn (rodonita?, Fig. 3.9I).

Comúnmente, las bandas de cuarzo alternan con bandas ricas en adularia de tonalidades rosadas a anaranjadas, de tipo rómbica de 150 a 200  $\mu\text{m}$ , con inclusiones y/o productos de alteración en trenes paralelos a los límites del cristal, y de morfología tabular de 0,5 mm hasta 1 cm de longitud, intercrecidos con adularias rómbicas y/o en grupos que están creciendo perpendicularmente a los límites de las bandas, en ambos casos con inclusiones y/o productos de alteración en trenes paralelos a los límites del cristal (Fig. 3.9J, K).





**Figura 3.9:** Texturas, y mineralogía del pulso 1. **A)** Bandeado crustiforme-coloforme compuesto por finas bandas de cuarzo, carbonatos y adularia, MLT (/). **B)** Detalle de textura musgosa en el bandeado, MLT (/). **C)** Cuarzo con textura sacaroide intercrecido con carbonatos y sulfuros, MLT (+). **D)** Remanentes de platycalcita parcialmente reemplazados por cuarzo fino de hábito alargado, MLT (/). **E)** Cristales de mineral tabular interpretado como reemplazo de posible carbonato (flecha), MLT (/). **F)** Textura pseudoacicular caracterizada por agregados fibro-radiados de cuarzo (flecha), MLT (/). **G)** Textura “esferulítica” compuesta por cristales fibro-radiados de cuarzo reemplazando a calcita (flecha), MLT (+). **H)** Reemplazo de tipo láminas paralelas compuesto por paquetes de agregados de cuarzo elongados, MLT (+). **I)** Bandeado fino de calcedonia, calcita masiva cristalina y bandas finas de Mn, Fe-calcita, MLT (+). **J)** Cristales de adularia tabular y subrómica intercrecidos con cuarzo de grano fino recrystalizado, MLT (+). **K)** Detalle de adularias tabulares creciendo de manera perpendicular al límite una banda, MLT. **Referencias:** ad: adularia; cal: calcita; calc: calcedonia; cb: carbonato; qtz: cuarzo.. MLT: microfotografía con luz transmitida (/) nicols paralelos, (+) nicols cruzados.

Los sulfuros y sulfosales son escasos (1%), y han precipitado en las etapas tempranas principalmente en finas bandas junto con arcillas y calcedonia en bandas de tipo *ginguro*, y/o diseminados en bandas de cuarzo donde se han podido identificar 2 asociaciones principales:

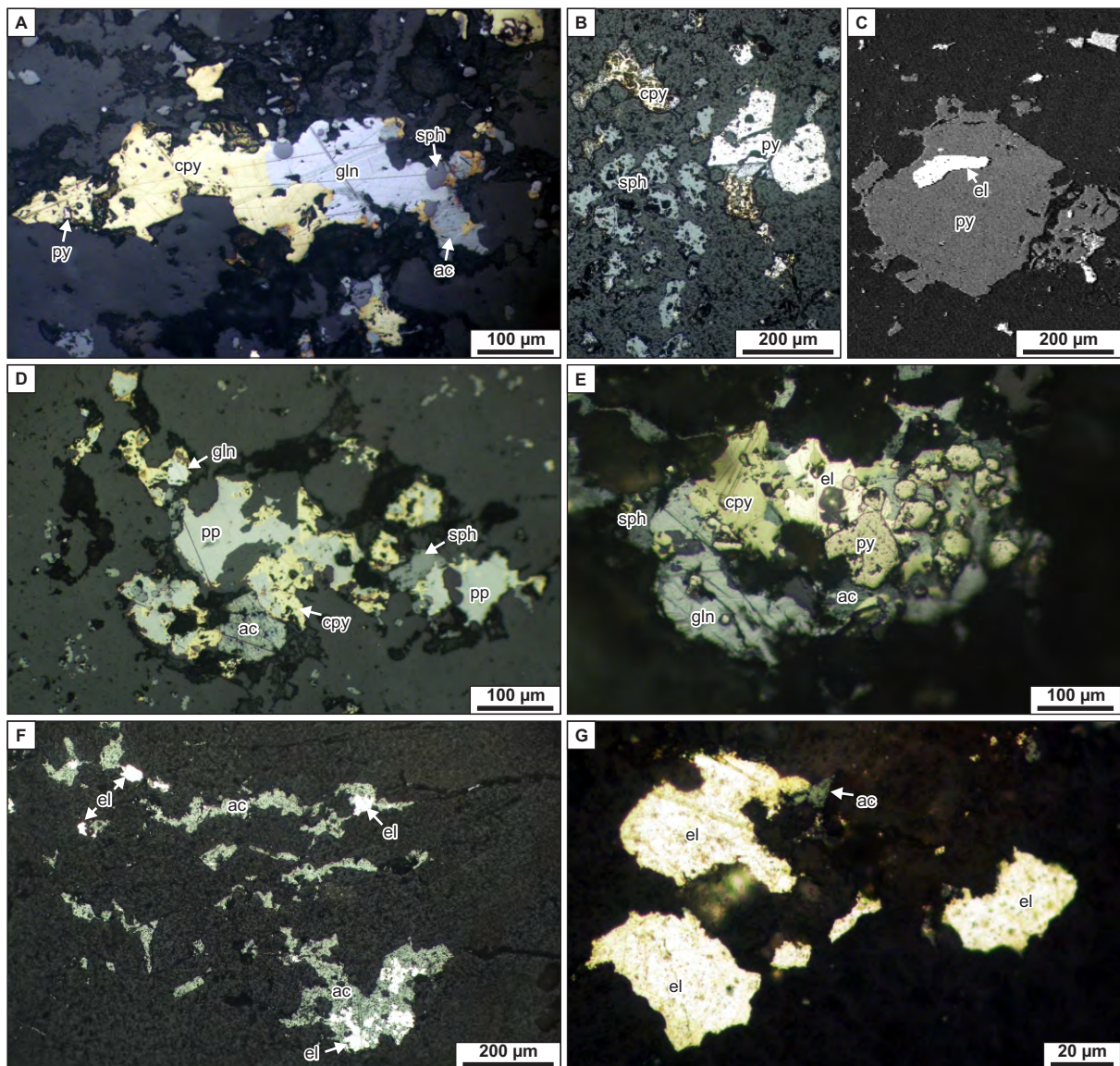
Asociación pirita ( $\pm$  electrum) + calcopirita + esfalerita  $\pm$  galena  $\pm$  bornita: Esta asociación de sulfuros es la primera en depositarse, está caracterizada por escasos granos de pirita ( $FeS_2$ ), rodeados de esfalerita ( $ZnS$ ) pobre en Fe y Cd ( $< 2\%$  en peso; Tabla 3.2), masas irregulares de calcopirita ( $CuFeS$ ) escasa bornita ( $Cu_5FeS_4$ ) y galena ( $PbS$ , Fig. 3.10 A, B). Además, se han detectado mediante microsonda que algunas piritas contienen inclusiones mecánicas de electrum de composición  $Au_{0,55}, Ag_{0,45}$  (Tabla 3.1; Figs. 3.10C, 3.11A).

Asociación polibasita-pearceíta + acantita + electrum: Esta asociación precipita posteriormente a la asociación pirita + calcopirita + esfalerita  $\pm$  galena. La polibasita-pearceíta ( $(Ag,Cu)_6(Sb,As)_2S_7(Ag_9CuS_4)$ ) es el principal mineral portador de plata en el sistema. Este mineral se encuentra rodeando los sulfuros de metales base como también ocupando intersticios entre cristales de cuarzo y/o rellenando vetillas, o rodeando a los sulfuros (Fig. 3.10D). La relación  $Sb/(As+Sb)$  varía entre 0 a 1 de manera continua (Tabla 3.2, Fig. 3.11B), mostrando el rango completo dentro de la solución sólida, con predominio de los contenidos más ricos en As (extremo pearceíta). De manera tardía, asociado a las sulfosales de plata, este pulso presenta cantidades abundantes de acantita ( $Ag_2S$ ) y electrum ( $Au,Ag$ ) de grano grueso ( $50\ \mu m$  a  $0.8\ mm$ ) entre los cristales de cuarzo y/o rodeando los sulfuros (Fig. 3.10 E-G). La composición del electrum varía desde  $\sim Au_{0,4-0,5}Ag_{0,5-0,6}$  hasta  $Au_{0,7}Ag_{0,25}Cu_{0,05}$  en profundidad (Tabla 3.2; Fig. 3.11A).

**Pulso 2:** Se caracteriza por brechas matriz soportadas de aspecto oqueroso, compuestas por una matriz de cuarzo blanco lechoso con o sin carbonatos (de tonalidades marrones a verdosos), conformando un entramado que deja cavidades ocupadas por cuarzo y óxidos de hierro (Figs. 3.4, 3.6 E-G). Además se identificaron clastos de hábito tabular compuestos por un agregado fino de cuarzo y abundantes sulfuros.

Al microscopio, la matriz de estas brechas está conformada por un entramado de cuarzo recristalizado y sacaroide (Fig. 3.12A), por sectores con agregados vermiculares de carbonatos de grano fino correspondiente a carbonatos de Fe-Mn (siderita-rodocrosita) y calcita (más límpido) intercrecidos con minerales del grupo de la clorita (Fig. 3.12B). Además se distinguen cavidades subredondeadas e irregulares, parcial y/o totalmente rellenas por cuarzo sacaroide y en peine. Los clastos de la brecha son escasos y se caracterizan por



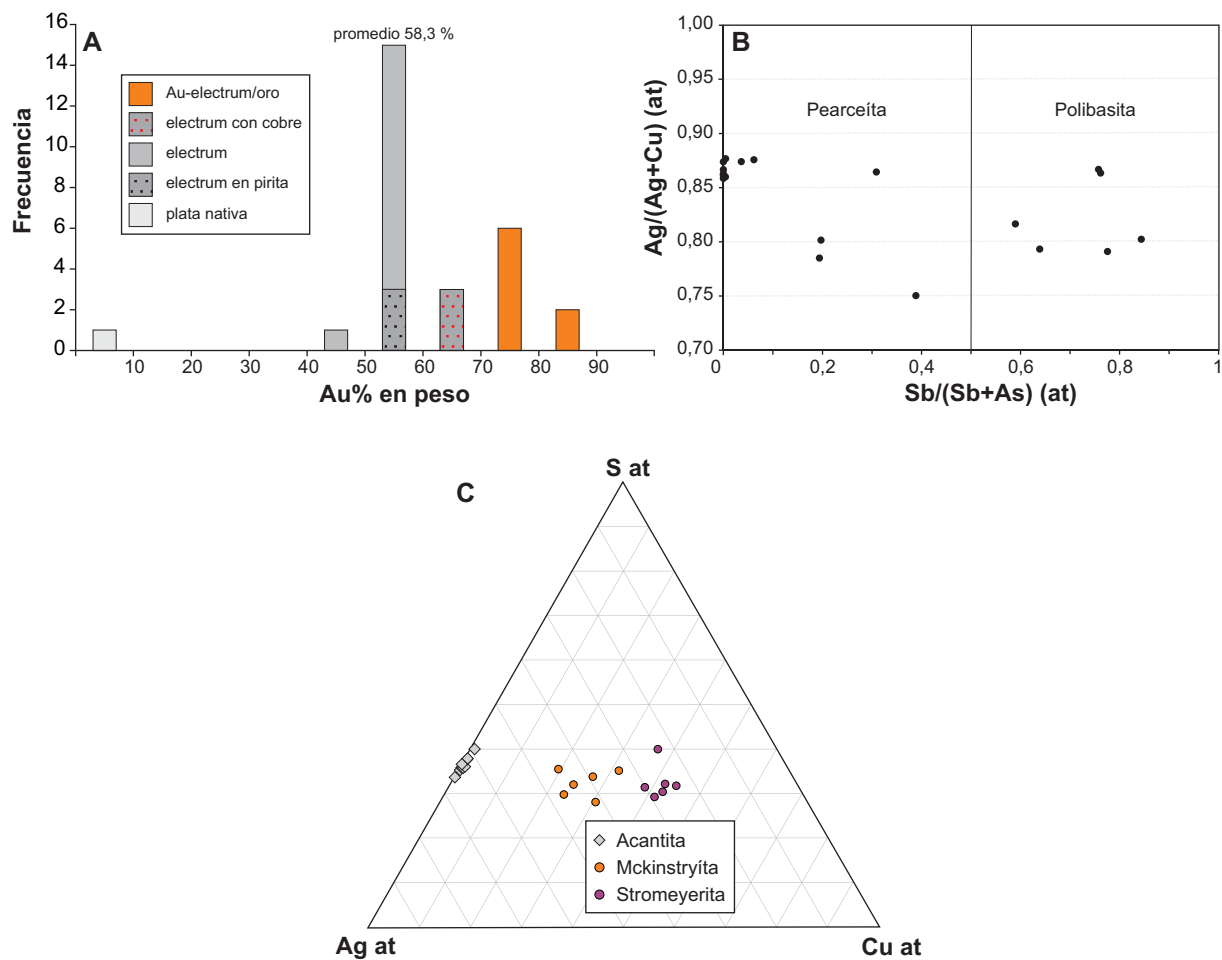


**Figura 3.10:** Principales asociaciones de minerales de mena del pulso 1. **A)** Asociación pirita, calcopirita, esfalerita y galena rodeados de acantita y calcopirita, MLR. **B)** Abundantes cristales de esfalerita con pirita y calcopirita en profundidad, MLR. **C)** Detalle de grano de pirita con inclusión de electrum, MME. **D)** Polibasita-pearceíta con calcopirita y acantita rodeando esfalerita y galena, MLR. **E)** Electrum tardío ocupando huecos entre calcopirita, esfalerita y galena, MLR. **F)** Finas vetillas de acantita con electrum, MLR. **G)** Detalle de granos de electrum acompañados de acantita, MLR. **Referencias:** ac: acantita; cpy: calcopirita; el: electrum; gln: galena; pp: polibasita-pearceíta; py: pirita; sph: esfalerita. MLR: microfotografía con luz reflejada; MME: microfotografía con microscopio electrónico.

**Tabla 3.2:** Composición mínima, máxima y promedio de los minerales de mena Eureka West analizadas por microsonda electrónica

	Polibasita - Pearcefta (n=19)			Acantita (n=8)			Galena (n=3)			Mckinstryita - Stromeyerita (n=12)		
	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio
<b>S W%</b>	12,72	15,35	14,19	12,55	15,97	14,06	12,92	13,41	13,22	12,06	20,47	15,25
<b>Fe W%</b>	0,00	0,13	0,04	0,00	0,12	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,03
<b>Cu W%</b>	5,74	12,64	7,71	0,12	0,75	0,44	0,15	0,35	0,26	15,96	44,45	31,58
<b>Zn W%</b>	0,00	0,30	0,08	0,00	0,64	0,11	0,04	0,05	0,04	0,00	0,84	0,14
<b>As W%</b>	1,01	8,00	4,22	0,05	0,55	0,26	0,00	0,01	0,01	0,00	0,29	0,11
<b>Se W%</b>	0,00	0,87	0,09	0,00	0,31	0,09	0,00	0,02	0,01	0,00	0,21	0,05
<b>Ag W%</b>	63,03	71,99	68,11	79,81	83,40	81,82	0,03	0,07	0,05	40,11	69,74	52,99
<b>Sb W%</b>	0,00	8,89	2,79	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,25	0,02
<b>Pb W%</b>	0,00	0,28	0,07	0,00	0,16	0,06	83,00	86,19	84,58	0,00	0,22	0,06
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56	0,21	0,00	0,00	0,00	0,00	0,80	0,18
<b>Sum W%</b>	94,73	98,73	97,30	95,64	97,95	96,93	96,40	99,78	98,19	94,46	108,01	100,42
<b>S at</b>	31,40	36,67	34,61	33,25	39,68	36,18	49,71	50,25	49,91	27,93	39,89	32,30
<b>Fe at</b>	0,00	0,18	0,06	0,00	0,17	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,04
<b>Cu at</b>	7,10	15,74	9,49	0,15	0,96	0,57	0,29	0,67	0,50	19,25	44,46	33,39
<b>Zn at</b>	0,00	0,36	0,10	0,00	0,79	0,13	0,07	0,08	0,08	0,00	0,98	0,16
<b>As at</b>	1,05	8,39	4,41	0,05	0,62	0,29	0,00	0,02	0,01	0,00	0,26	0,11
<b>Se at</b>	0,00	0,87	0,09	0,00	0,34	0,09	0,00	0,03	0,01	0,00	0,20	0,04
<b>Ag at</b>	45,28	53,15	49,43	58,97	65,69	62,64	0,04	0,08	0,05	23,23	46,46	33,88
<b>Sb at</b>	0,00	5,66	1,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,02	0,00	0,15	0,01
<b>Pb at</b>	0,00	0,11	0,03	0,00	0,06	0,02	49,02	49,78	49,41	0,00	0,07	0,02
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,06
<b>Sum at</b>	99,99	100,01	100,00	99,99	100,01	100,00	99,98	100,00	99,99	99,98	100,02	100,00
	Esfalerita (n=4)			Pirita (n=4)			Electrum + Plata nativa (n=31)					
	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio			
<b>S W%</b>	31,98	32,67	32,42	<b>S W%</b>	49,8	51,8	50,9	<b>Au W%</b>	0,00	87,28	59,71	
<b>Fe W%</b>	0,03	0,62	0,28	<b>Fe W%</b>	45,5	46,4	45,9	<b>Ag W%</b>	12,22	98,89	38,82	
<b>Cu W%</b>	0,06	0,30	0,14	<b>Co W%</b>	0,0	0,1	0,0	<b>Cu W%</b>	0,00	4,31	0,70	
<b>Zn W%</b>	64,53	66,55	65,69	<b>Ni W%</b>	0,0	0,0	0,0	<b>Sum W%</b>	91,88	102,43	99,27	
<b>Cd W%</b>	0,22	0,36	0,29	<b>As W%</b>	0,0	2,2	0,7	<b>Au A%</b>	0,00	79,50	47,00	
<b>In W%</b>	0,00	0,04	0,02	<b>Sb W%</b>	0,0	0,1	0,0	<b>Ag A%</b>	20,32	99,59	51,31	
<b>Sum W%</b>	97,71	99,29	98,82	<b>Sum W%</b>	97,4	97,8	97,6	<b>Cu A%</b>	0,00	10,25	1,65	
<b>S A%</b>	49,74	50,07	49,91	<b>S A%</b>	64,8	66,5	65,6	<b>Sum at</b>	99,76	100,01	99,97	
<b>Fe A%</b>	0,02	0,55	0,25	<b>Fe A%</b>	33,5	34,2	33,9					
<b>Cu A%</b>	0,05	0,24	0,11	<b>Co A%</b>	0,0	0,1	0,0					
<b>Zn A%</b>	49,29	50,08	49,61	<b>Ni A%</b>	0,0	0,0	0,0					
<b>Cd A%</b>	0,00	0,16	0,10	<b>As A%</b>	0,0	1,2	0,4					
<b>In A%</b>	0,00	0,03	0,01	<b>Sb A%</b>	0,0	0,0	0,0					
<b>Sum at</b>	99,99	100,01	100,00	<b>Sum at</b>	100,0	100,0	100,0					

Los resultados de los análisis puntuales se encuentran en el ANEXO B.



**Figura 3.11:** Química mineral de los principales minerales de Eureka West. **A)** Histogramas con las variaciones composicionales del electrum para las distintas asociaciones identificadas. **B)** Diagrama de proporciones atómicas de  $Sb/(Sb+As)$  vs.  $Ag/(Ag+Cu)$  para los minerales de la serie polibasita-pearceíta. **C)** Variaciones composicionales de las fases con Cu-Ag-S.

morfologías tabulares y por estar débilmente bandeadas (Fig. 3.12C). Están compuestos por un agregado fino de cuarzo con abundante esfalerita, acantita y calcopirita de grano fino (20-100  $\mu\text{m}$ , Fig. 3.12D). Hacia los bordes de los clastos, los sulfuros son de mayor tamaño (200-500  $\mu\text{m}$ ) y se componen de galena, acantita rodeada de calcopirita, pirita con inclusiones de oro (20  $\mu\text{m}$ ) y algunos granos de entre 20 a 50  $\mu\text{m}$  de electrum diseminados (Fig. 3.12E).

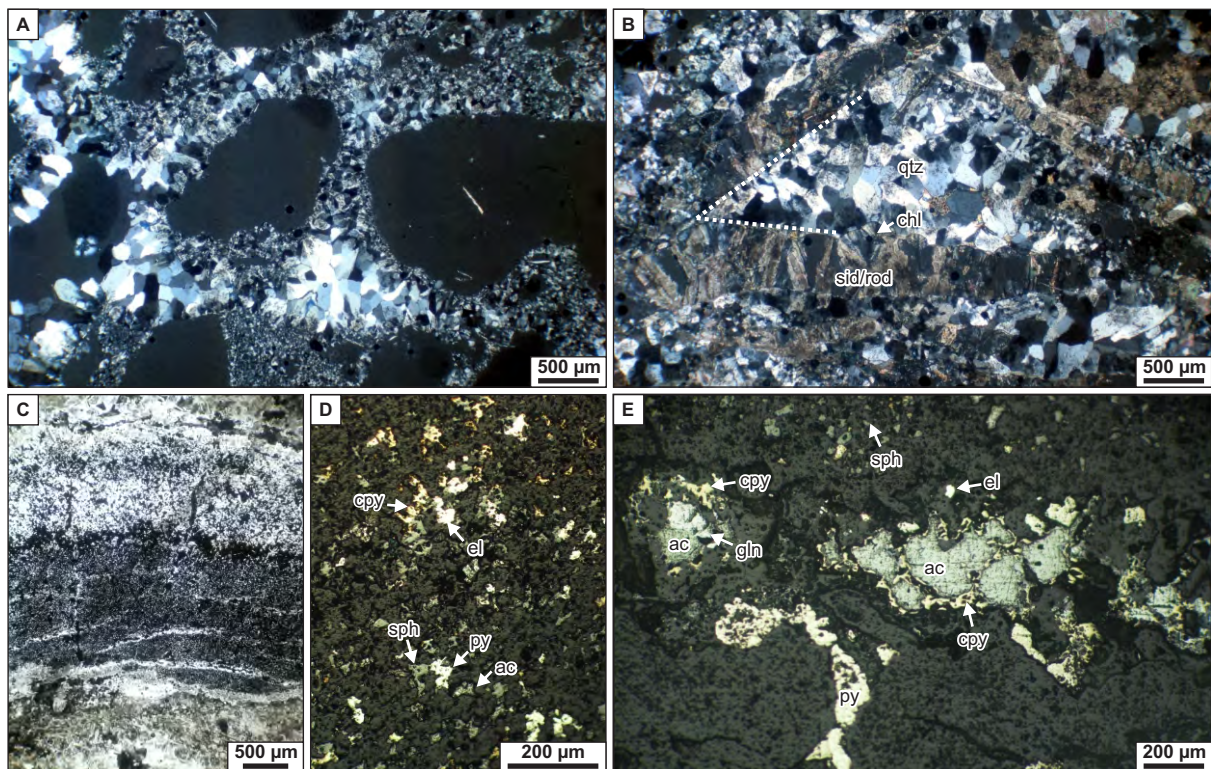
## **Episodio 2**

**Pulso 3:** Este pulso tiene un amplio desarrollo a lo largo y en profundidad en toda la estructura. Está caracterizado por un bandeo coloforme-crustiforme rítmico con desarrollo de texturas en cocardas y drusiformes, compuesto por la alternancia de finas bandas milimétricas blancas, grises, y rosadas de minerales del grupo de la sílice (cuarzo, calcedonia), adularia y sulfuros (Figs. 3.4, 3.7 A-C).

En las bandas de cuarzo se observan variadas texturas de recristalización de sílice amorfa y calcedonia a cuarzo. En etapas tempranas predominan las bandas de tonalidades blancas con texturas en mosaico, musgosa y esferas fantasmas (Fig. 3.13 A, B). Por sectores, intercrecidos en las bandas de cuarzo, se identifican agregados fibro-radiados de minerales aciculares de 1mm de largo, conformando “ramilletes” a 45° que crecen de manera perpendicular al límite de la banda, interpretados como posibles reemplazos de ceolitas (Fig. 3.13C). Las bandas de cuarzo alternan con finas bandas de adularia rómbica (200 a 500  $\mu\text{m}$ ) parcialmente argilizada y escasa adularia tabular asociada a óxidos de hierro (Fig. 3.13D). Hacia etapas finales predominan bandas coloformes blancas, lechosas, translúcidas y azuladas compuestas por calcedonia fibrosa, cuarzo con textura en peine, plumoso, llameante y con cavidades drusiformes rellenas de calcedonia y/o carbonatos tardíos. (Fig. 3.13 E-G). Los minerales de mena corresponden a electrum y acantita diseminados entre las bandas de cuarzo.

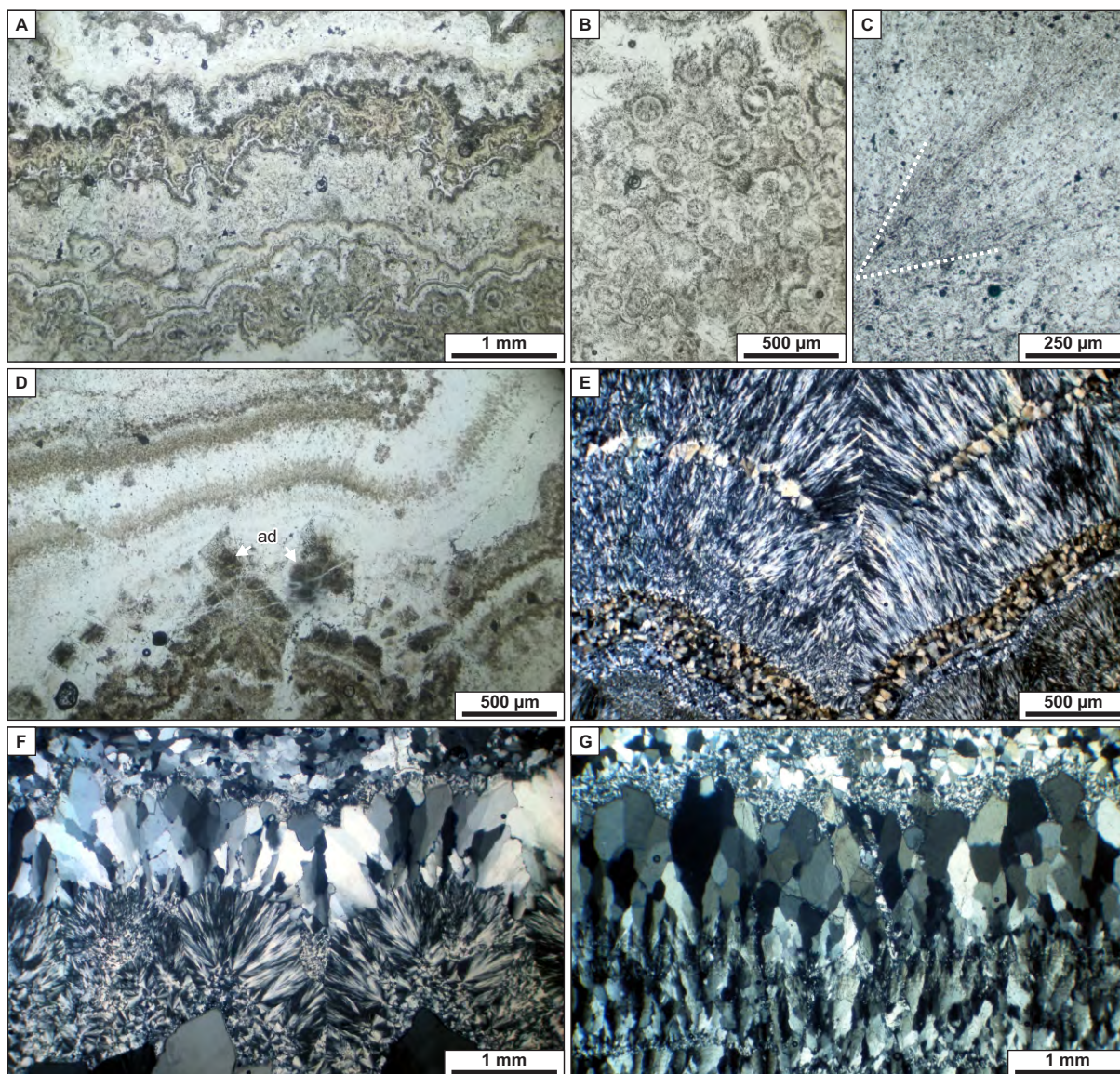
**Pulso 4:** El pulso tiene un amplio desarrollo en toda la estructura y está compuesto por vetillas simétricas de 1 a 2 cm de espesor que cortan netamente a pulsos previos y a la roca de caja. Las vetillas están caracterizadas por un borde fino de cuarzo (calcedonia) blanca bandeada con cavidades drusiformes rellenas de cuarzo amatista hacia el centro (Figs. 3.4, 3.7D, E). Al microscopio, se observan texturas de recristalización de tipo llameante subesféricas hacia los bordes y cavidades drusiformes rellenas de cuarzo sacaroide y en peine. (Fig. 3.14A, B).





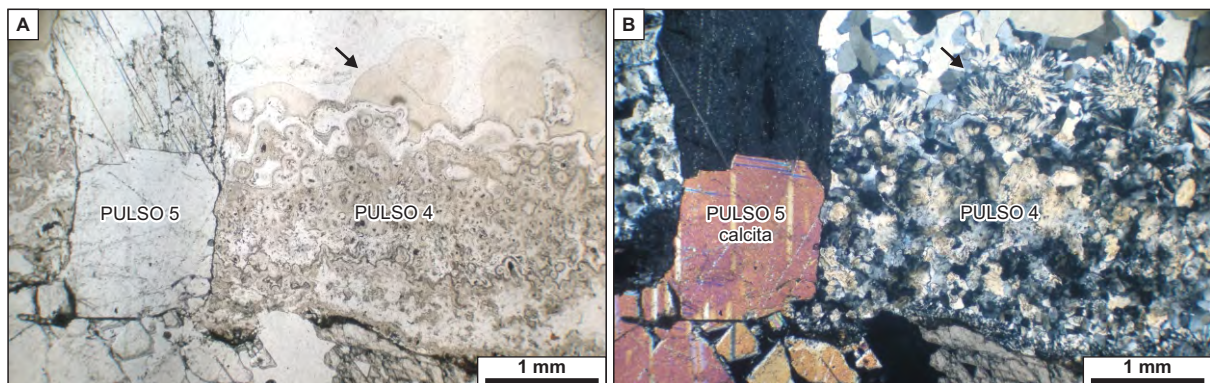
**Figura 3.12:** Texturas, y mineralogía del pulso 2. **A)** Matriz de la brecha compuesta por un entramado de cuarzo recristalizado y cavidades subredondeadas, MLT (//). **B)** Agregados vermiculares de carbonatos intercrecidos con cloritas y cavidades rellenas de cuarzo sacaroide, MLT (+). **C)** Detalle de fragmento bandeados de cuarzo y abundantes sulfuros finos, MLT (//). **D)** Abundante sulfuros finos (esfalerita, acantita, pirita y calcopirita) con electrum en fragmento bandeado, MLR. **E)** Sulfuros gruesos parcial y/o totalmente reemplazados por acantita y calcopirita, MLR. **Referencias:** ac: acantita; chl: clorita, cpy: calcopirita; el: electrum; gln: galena; MLR: microfotografía con luz reflejada; py: pirita; qtz: cuarzo, sid/rod: siderita-rodocrosita, sph: esfalerita. MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos, (+) nicols cruzados.





**Figura 3.13:** Texturas, y mineralogía del pulso 3. **A)** Bandeado coloforme-crusitoforme conformado por finas bandas de cuarzo con variadas texturas de recrystalización, MLT (//). **B)** Detalle de banda con textura musgosa en esferas fantasmas (*ghost sphere*), MLT (//). **C)** Agregados de mineral fibroradiado intercrecido en banda de cuarzo, MLT (//). **D)** Bandeado coloforme de calcedonia y adularia rómbica parcialmente argilizada, MLT (//). **E)** Bandas coloformes de cuarzo según calcedonia fibrosa, MLT (+). **F)** Textura plumosa alrededor de cristales de cuarzo cristalino, MLT (+). **G)** Detalle de banda de cuarzo con textura microplumosa, MLT (+). **Referencias:** ad: adularia. MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos, (+) nicols cruzados.





**Figura 3.14:** Texturas, y mineralogía de los pulsos 4 & 5. **A)** Pulso 4, detalle de borde de vetilla con texturas coloformes finas, llameante subesféricas (flecha) y cavidades drusiformes rellenas de cuarzo sacaroide y en peine. Pulso 5, vetilla de calcita gruesa en relación de corte, MLT (/). **B)** MLT (+). MLT: microfotografías con luz transmitida (/) sin nicoles, (+) con nicoles.

### **Episodio 3**

**Pulso 5:** Este pulso tiene un amplio desarrollo tanto dentro de las vetas como afectando a la roca de caja. Está conformado por finas vetillas de 1 a 2 cm rellenas de calcita gruesa (Figs. 3.4, 3.7D, 3.14 A, B).

### **Episodio 4**

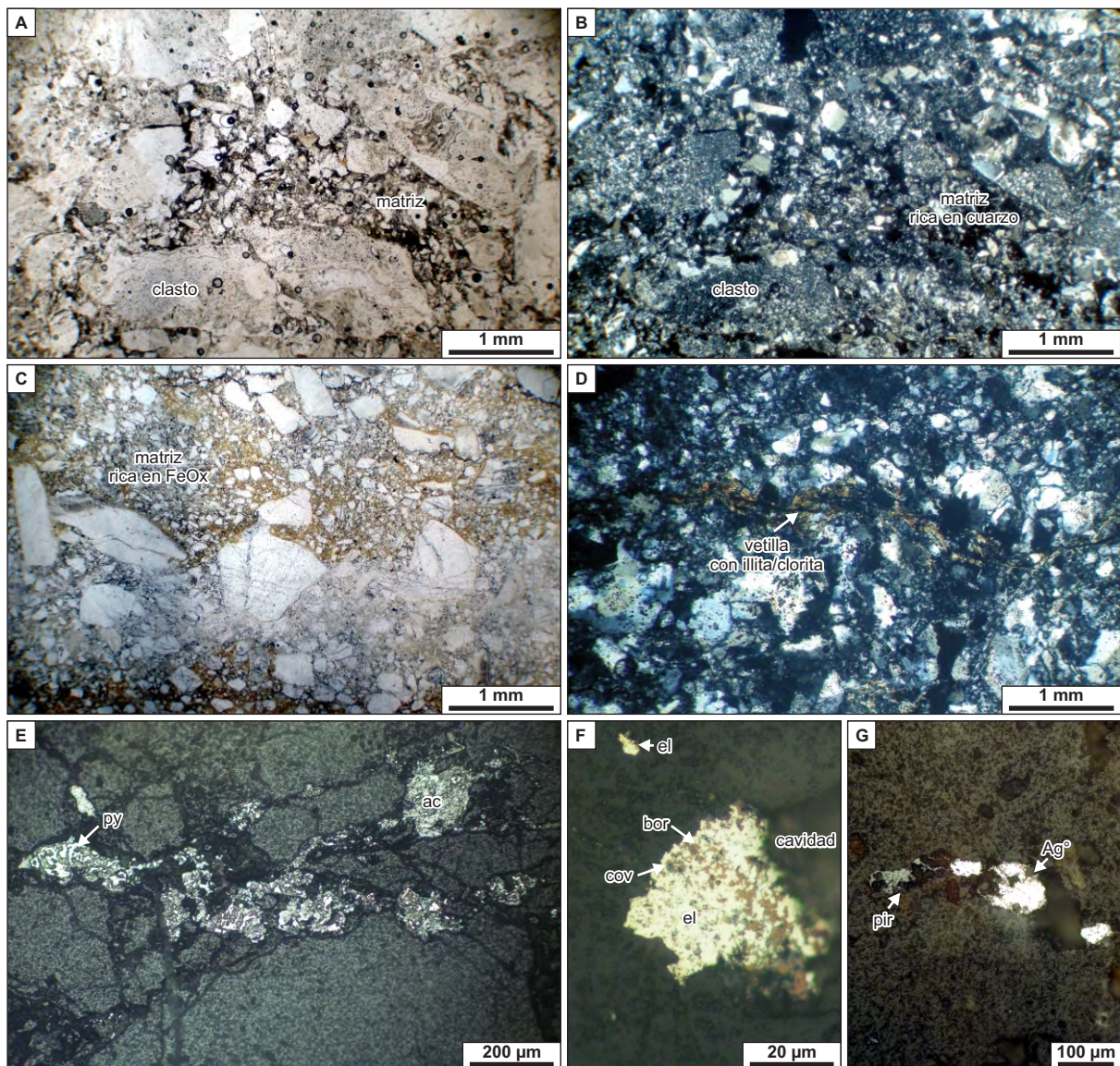
**Pulso 6:** El pulso 6 está representado tanto por finas vetillas como hasta cuerpos de brechas de falla, interpretadas como brechas cohesivas de falla debido a la precipitación de minerales de un fluido (“*cohesive fault breccia*”, Passchier & Trouw, 2005). Estas brechas están caracterizadas por abundantes clastos subangulosos a subredondeados con tamaños desde centímetros a milímetros y con variable cantidad de matriz (Figs. 3.4, 3.8). Las brechas atraviesan principalmente a los cuerpos mineralizados y se desarrollan principalmente hacia las paredes de la veta y pueden contribuir con elevados tenores de metales preciosos especialmente de plata.

La matriz está compuesta por minerales de tonalidades rojizas a castañas, debido a la presencia de óxidos de hierro, hasta castaña oscura en presencia de sulfuros (Fig. 3.8 E, F). Al microscopio se distinguen texturas brechosas matriz sostén compuestas por clastos bandeados de pulsos previos, en una matriz de grano medio a fino formada por un mosaico de cuarzo, variable cantidad de óxidos de hierro (jarosita y hematita) y sulfuros (Fig. 3.15A, C). De manera tardía cortan a la brecha finas vetillas rellenas de illita (Fig. 3.15D).

Los sulfuros encontrados se alojan en microfracturas de 50-100  $\mu\text{m}$ , acompañados de óxidos de hierro, como también relleno de cavidades y diseminados en la matriz de la brecha. Los mismos corresponden a pirita y acantita ( $\pm$  plata nativa asociada), escasa esfalerita y calcopirita (Fig. 3.15E). Además se observan granos de electrum diseminados en la matriz y/o en cavidades probablemente correspondientes a pulsos previos asociados a bornita y calcopirita (Fig. 3.15F). De manera póstuma se registran finas vetillas rellenas de óxidos de hierro que llevan pirargirita con plata nativa asociada (Fig. 3.15G).

### ***Modificaciones supergénicas***

Observaciones texturales y mineralógicas de detalle en muestras tomadas a lo largo de toda la veta y a diferentes profundidades (que llegan hasta el momento a los ~400 m de profundidad por debajo de la superficie actual) revelan que los minerales primarios están total o parcialmente reemplazados por esta nueva asociación mineral secundaria. Esta nueva



**Figura 3.15:** Texturas y mineralogía del pulso 6. **A)** Brecha cohesiva de falla con abundantes fragmentos de bandeados en una matriz rica en cuarzo de grano fino, MLT (//). **B)** MLT (+). **C)** Detalle de brecha con mayor cantidad de matriz rica en óxidos de hierro, MLT (//). **D)** Fina vetilla rellena de illita/clorita tardía en relación, MLT (+). **E)** Microfracturas rellenas de pirita y acantita con texturas de reemplazo, MLR. **F)** Grano de electrum en cavidad junto a bornita, calcopirita y covelina, MLR. **G)** Vetilla con pirargirita y plata nativa, MLR. **Referencias:** ac: acantita, Ag<sup>o</sup>: plata nativa, bor: bornita, cov: covelina, el: electrum, pir: pirargirita, py: pirita. MLR: microfotografía con luz reflejada, MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos, (+) nicols cruzados.



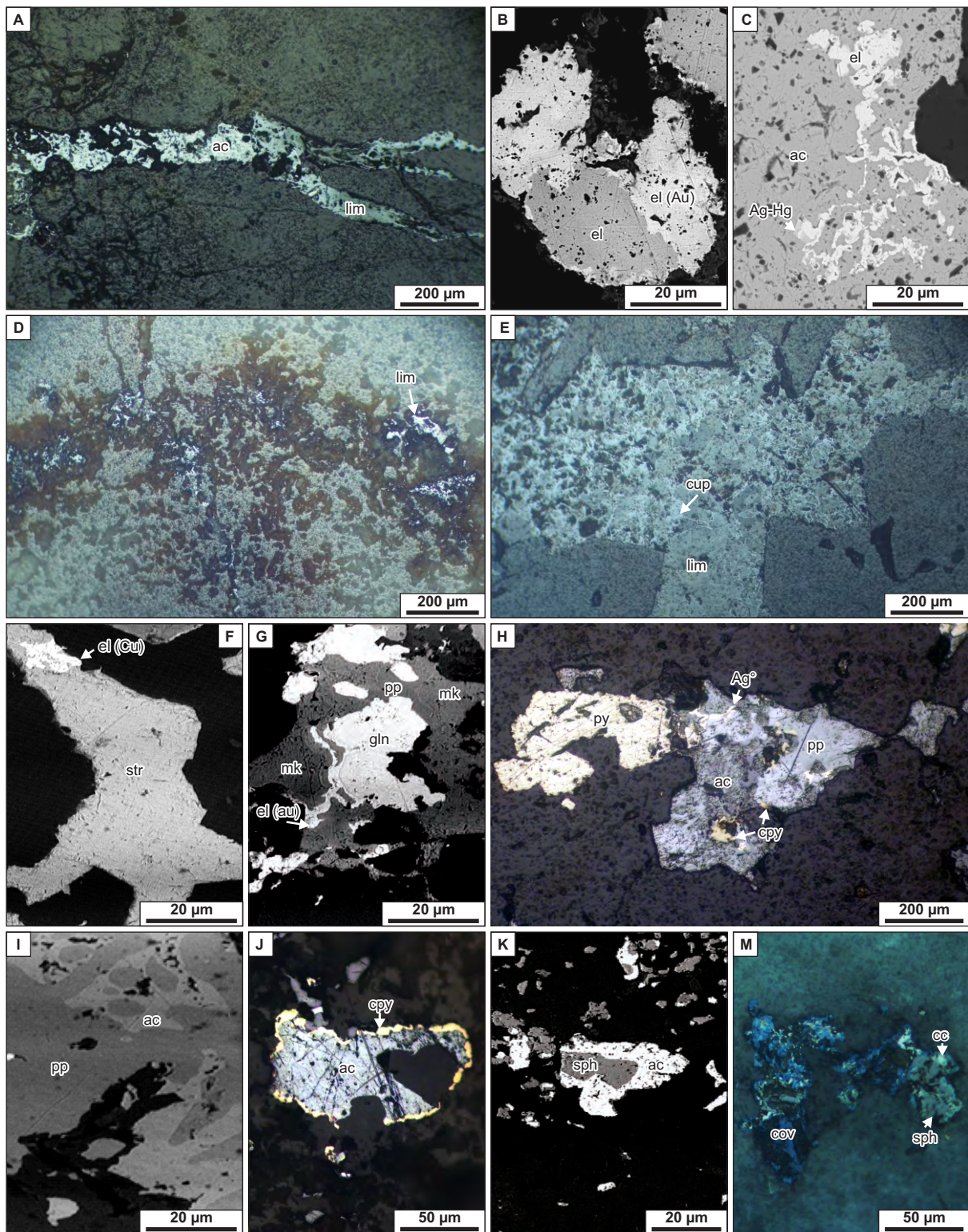
paragénesis está representada por oro nativo y electrum rico en oro, minerales de plata como acantita, plata nativa, mckinstryita ( $(Cu,Ag)_2S$ ) – stromeyerita ( $AgCuS$ ) (Tabla 3.2; Fig. 3.11C), pirargirita y una amalgama de Ag-Hg, y en menor medida por minerales de cobre representados por covelina, calcopirita y calcosina, y ocasionalmente cuprita, malaquita y azurita. Estos minerales se encuentran acompañados óxidos de Fe-Mn, caolinita de baja cristalinidad (reemplazo de arcillas y adularia) y sulfatos secundarios (jarosita, argentojarosita y yeso).

Esta nueva asociación mineral, principalmente cerca de superficie, rellena cavidades y delgadas vetillas tardías mientras que en profundidad predominan los reemplazos *in situ* (Figs. 3.10A, D, 3.16A). En posiciones someras el electrum primario ( $\sim Au_{0,4-0,5}Ag_{0,5-0,6}$ ) generalmente lleva un reborde de electrum secundario rico en oro ( $\sim Au_{0,8}Ag_{0,2}$ ) (Tabla 3.2; Figs. 3.10B; 3.16B). Además, se encuentra parcial o totalmente reemplazado por una asociación de acantita y electrum secundario, raramente junto a una amalgama de Ag-Hg (Fig. 3.16C). La covelina rellena vetillas y cavidades tardías junto a limonitas y escasa cuprita, malaquita y azurita en muestras cercanas a superficie, generalmente acompañada de los minerales secundarios de oro y plata (Fig. 3.16 D, E).

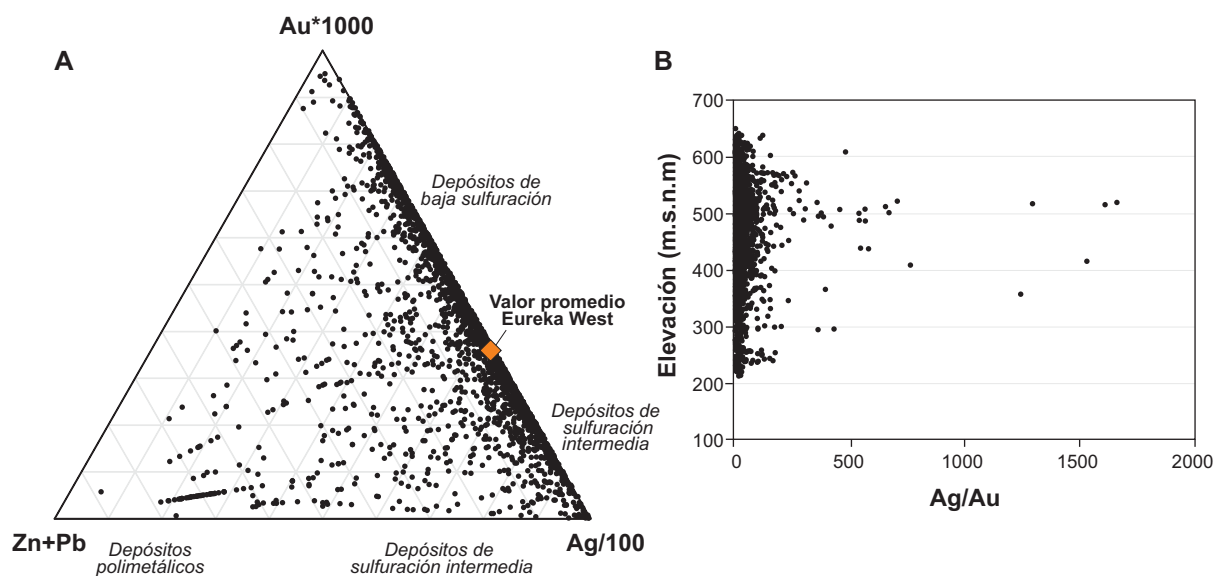
En profundidad, el electrum  $Au_{0,7}Ag_{0,25}Cu_{0,05}$  (Tabla 3.2; Fig. 3.11A) está asociado a mckinstryita/stromeyerita, que además reemplaza a las sulfosales de plata y a los sulfuros (Fig. 3.16 F, G). La polibasita-pearceíta también se presenta total o parcialmente reemplazada por parches de acantita por sectores con Ag nativa dispuesta como un halo (Fig. 3.16H, I). Asimismo, este reemplazo se asocia a una nueva generación de calcopirita, dispuesta como un difuso y fino reborde en la acantita o como pequeñas masas irregulares en el contacto entre las sulfosales y la acantita (Fig. 3.16J). La acantita también forma rebordes corrosivos sobre granos de esfalerita, calcopirita y pirita (Fig. 3.16K). Por su parte, la covelina de grano muy fino, junto a escasas calcosina, se encuentran reemplazando parcial y/o totalmente a la calcopirita (Fig. 3.16M).

### 3.4.2. Geoquímica de Eureka West

Para la caracterización geoquímica fueron utilizados los datos pertenecientes a la empresa Goldcorp Inc. Los resultados representadas en la sección longitudinal de la Figura 3.3 revelan contenidos de promedios ponderados por el espesor de 16,85 g/t de Au y 286 g/t de Ag con relación Ag:Au cercana a 17:1.



**Figura 3.16:** A) Vetillas de acantita y limonitas en zona cercana a la superficie, MLR. B) Grano de electrum primario rodeado de electrum rico en oro, MME. C) Textura de reemplazo de electrum por acantita. En el contacto entre las fases aparece una amalgama de Ag-Hg, MME. D) Vetillas y microfracturas rellenas de óxidos y limonitas, MLR. E) Cuprita y limonitas rellenas cavidad, MLR. F) Stromeyerita reemplazando a electrum primario con Cu, MME. G) Mckinstryita rodeando a sulfuros primarios junto con electrum rico en Au, MME. H) Calcopirita dispuesta entre las sulfosales de plata y la acantita, asociado a plata nativa, MLR. I) Textura de reemplazo de polibasita-pearceita por acantita, MME. J) Acanthita (reemplazando a sulfosal de plata) con un halo de calcopirita, MLR. K) Esfalerita con reborde de acantita, MME. M) Sulfuros primarios reemplazados por calcosina y covelina, MLR. **Referencias:** ac: acantita; Ag°: plata nativa; cc: calcosina, cpy: calcopirita; cov: covelina, el: electrum (Au) rico en oro; gln: galena; lim: limonitas; mk: mckinstryita; pp: polibasita-pearceita; py: pirita; sph: esfalerita, str: stromeyerita. MLR: microfotografía con luz reflejada; MME: microfotografía con microscopio electrónico.



**Figura 3.17:** Geoquímica de Eureka West. **A)** Diagrama triangular ( $Au*1000$ - $Ag*100$ - $Pb+Zn$ ) con las muestras de Eureka West ( $n = 2253$ ) y su valor promedio (modificado de Albinson et al. 2001). **B)** Diagrama de la relación de  $Ag/Au$  en función de la profundidad.

Eureka West se caracteriza por contener un clavo de alta ley ( $> 100$  gr de Au equiv. por metro) que muestra una geometría de hongo extendido a lo largo de 750 metros de longitud entre los niveles 400 a 550 msnm, con una raíz que alcanza los 400 metros de profundidad (Fig. 3.3).

El análisis de ~2300 muestras tomadas de testigos de perforaciones permitió definir la signatura geoquímica de la mineralización con valores anómalos en Au, Ag, As, Zn, Cu y Pb. Utilizando el diagrama propuesto por Albinson et al. (2001) se ha podido clasificar a Eureka West como un depósito de tipo auroargentífero (Fig. 3.17A). Algunas muestras registran elevadas relaciones Ag/Au mayores a 1500:1, entre los niveles 400 y 500 msnm, donde se confirma que la mineralización primaria ha sido afectada por procesos supergénicos (Fig. 3.17B). Por su parte, los contenidos de metales base llegan al 1% en profundidad, con relaciones aproximadas de Zn:Pb:Cu de 1½:1:1. Además, asociados a los metales preciosos se registran elevados tenores de As.

### 3.4.3. Alteraciones hidrotermales

Las alteraciones hidrotermales fueron reinterpretadas a partir de la base de datos de ASD TERRASPEC (SII, VIS/SWIR SPECTRAL ANALYSIS). Para el sector de Eureka West se trabajó sobre un total de 196 muestras tomadas con un espaciamiento de entre 1 a 3 metros en la zona de la mineralización principal y entre 5 a 20 metros en sectores de roca de caja. Los principales minerales identificados por esta herramienta incluyen caolinita, esmectita, illita, clorita, carbonatos, yeso, dickita, alunita, sílice, hematita, goethita y ceolitas.

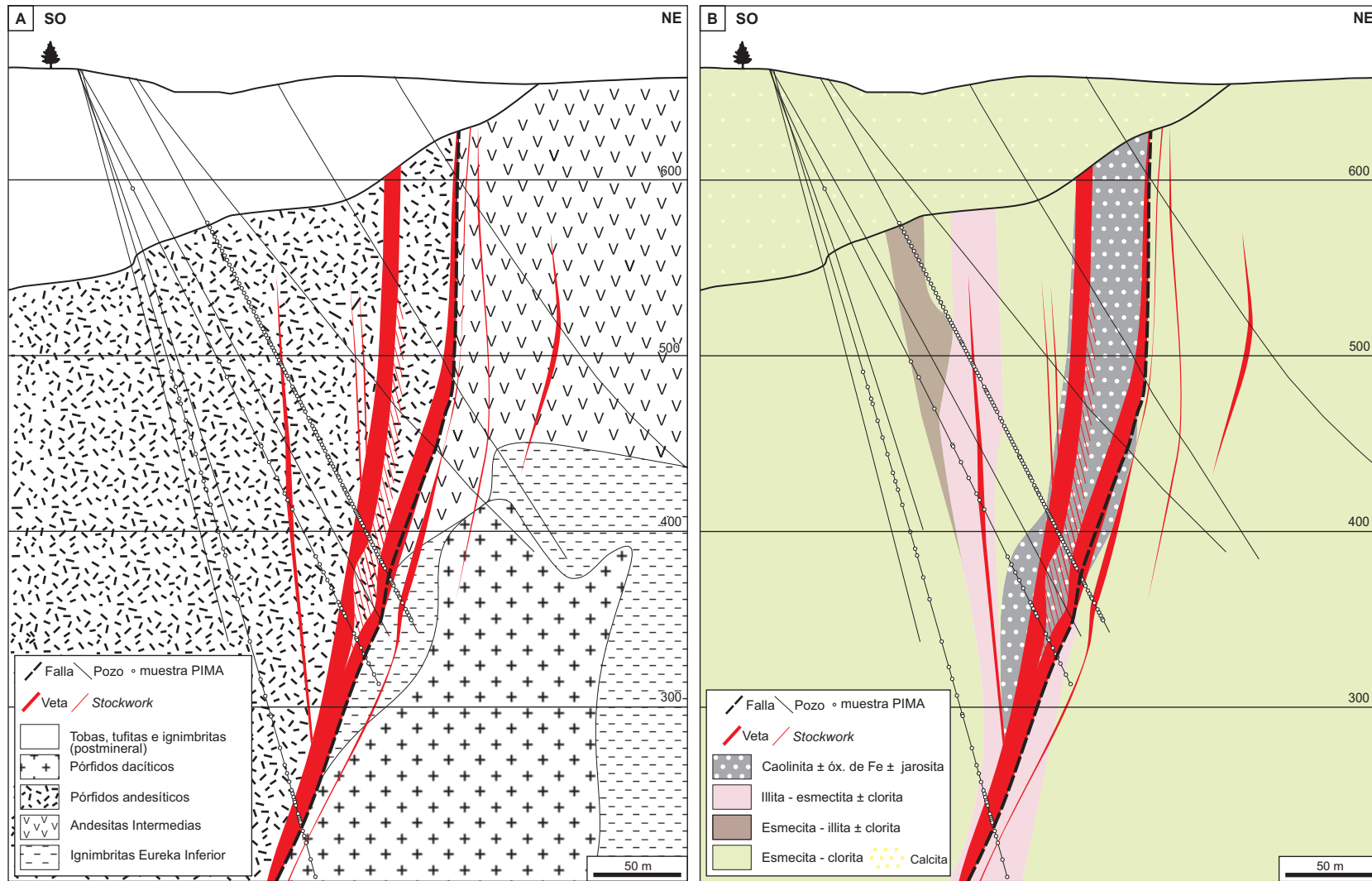
Con el fin de evaluar la distribución de las alteraciones se reinterpretó el perfil Eureka 150W (Fig. 3.3) integrando información de logueos de testigo de perforación además de observaciones e interpretaciones realizadas para el área.

La figura 3.18 muestra la distribución de las diferentes zonas de alteración hidrotermal hipogénica interpretadas que son las siguientes:

*Zona de illita - esmectita  $\pm$  clorita:* Se restringe a algunos metros alrededor de la mineralización principal con una inclinación subvertical, extendiéndose mayormente hacia el bloque alto de la estructura principal. Esta tipo de alteración oblitera parcialmente las texturas originales de la roca, y es comúnmente acompañada de finas vetillas rellenas de cuarzo, adularia y piritita (Fig. 3.19), desarrollándose con más intensidad en las proximidades de la veta.

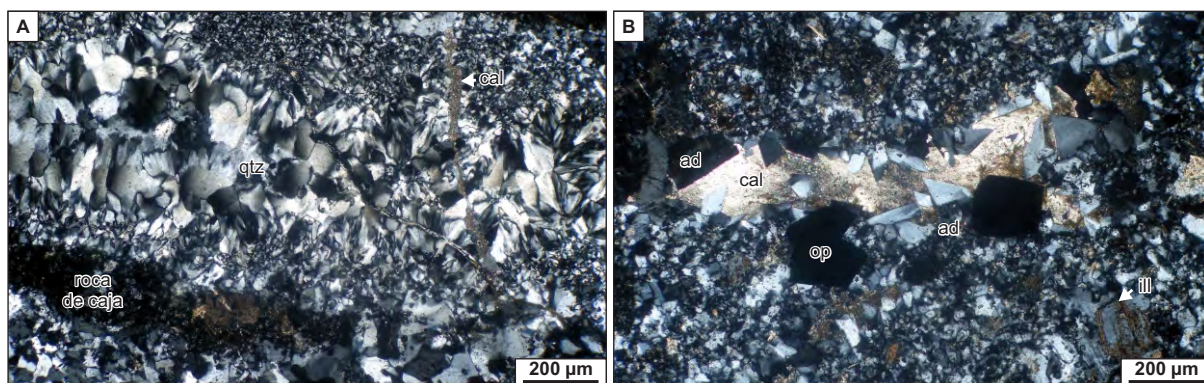
*Zona de esmectita – illita  $\pm$  clorita:* Se registra de manera reducida próxima a la zona de illita - esmectita  $\pm$  clorita, hacia el bloque alto de la estructura, a decenas de metros de la





**Figura 3.18: A) Perfil Eureka 150W con la interpretación geológica. B) Distribución de las principales asociaciones de alteraciones hidrotermales interpretadas a partir de los datos de PIMA.**





**Figura 3.19:** Mineralogía asociada a la zona de alteración illita-esmectita  $\pm$  clorita próximos a la mineralización. **A)** Vetilla de cuarzo con texturas de recrystalización cortada por finas vetillas de calcita tardía, MLT (+) . **B)** Vetilla tapizada por cuarzo y adularia rómbica con rellenos de calcita póstuma. En la roca de caja se observan fenocristales de plagioclasas parcialmente reemplazados por illita, MLT (+). **Referencias:** ad: adularia; cal: calcita; ill: illita; op: opaco; qtz: cuarzo. MLT: microfotografía con luz transmitida (+) nicols cruzados.

veta. La presencia de illita y esmectita como fases discretas, tiene lugar a temperaturas entre los 180 a 220°C (Simmons & Browne, 2000).

*Zona de esmectita ± clorita ± calcita:* Es la zona más distal de la estructura y tiene un amplio desarrollo, alcanzando decenas a cientos de metros alrededor de la estructura principal afectando a todas las litologías de roca de caja. Está caracterizada por un grado leve de alteración y la preservación de la mayoría de las fases minerales primarias. La presencia de esta asociación acompañada de calcita en los depósitos post-mineralización indican que el sistema hidrotermal continuó funcionando durante la depositación de estas unidades o bien puede deberse a un nuevo sistema sobreimpuesto. En sistemas geotermales activos, esta asociación se encuentra en las partes más distales con temperaturas de formación inferiores a los 180°C (Simmons & Browne, 2000).

*Zona de caolinita ± óxidos de hierro ± jarosita::* Esta zona se desarrolla próxima y acompañando la estructura principal, hasta los 350 metros de profundidad, de origen supergénico vinculado con el descenso de aguas meteóricas ácidas producto de la meteorización y destrucción de los sulfuros primarios. El espectro de PIMA detectado indica que la cristalinidad de la caolinita es mayormente baja, por lo que se interpreta que estaría vinculada a un origen supergénico.

### **3.4.4. Caracterización de los fluidos mineralizantes**

#### **3.4.4.1. Inclusiones fluidas**

En sistemas epitermales, las texturas de las inclusiones fluidas en cuarzo varían sistemáticamente, de manera que permiten mediante petrografía, predecir las condiciones de temperatura generales del fluido (Bodnar et al., 1985). En Eureka West predominan las texturas coloformes-crustiformes finas que llevan zonas oscuras debido a las abundantes inclusiones fluidas pequeñas y/o burbujas de aire que contienen, lo que dificulta obtener sus propiedades (Fig. 3.20A). Además, las modificaciones supergénicas descriptas previamente han contribuido al bajo grado de preservación de las inclusiones fluidas. Sin embargo, fue posible obtener algunos datos en una muestra correspondiente al pulso 1.

#### *Metodología*

La muestra estudiada (21626, pozo EDD-753), procede del extremo oeste de la veta y corresponde a una profundidad de ~150 metros. Se trata de un bandeado crustiforme-coloforme que se inicia con bandas más gruesas de cuarzo cristalino, adularia, platycalcita y

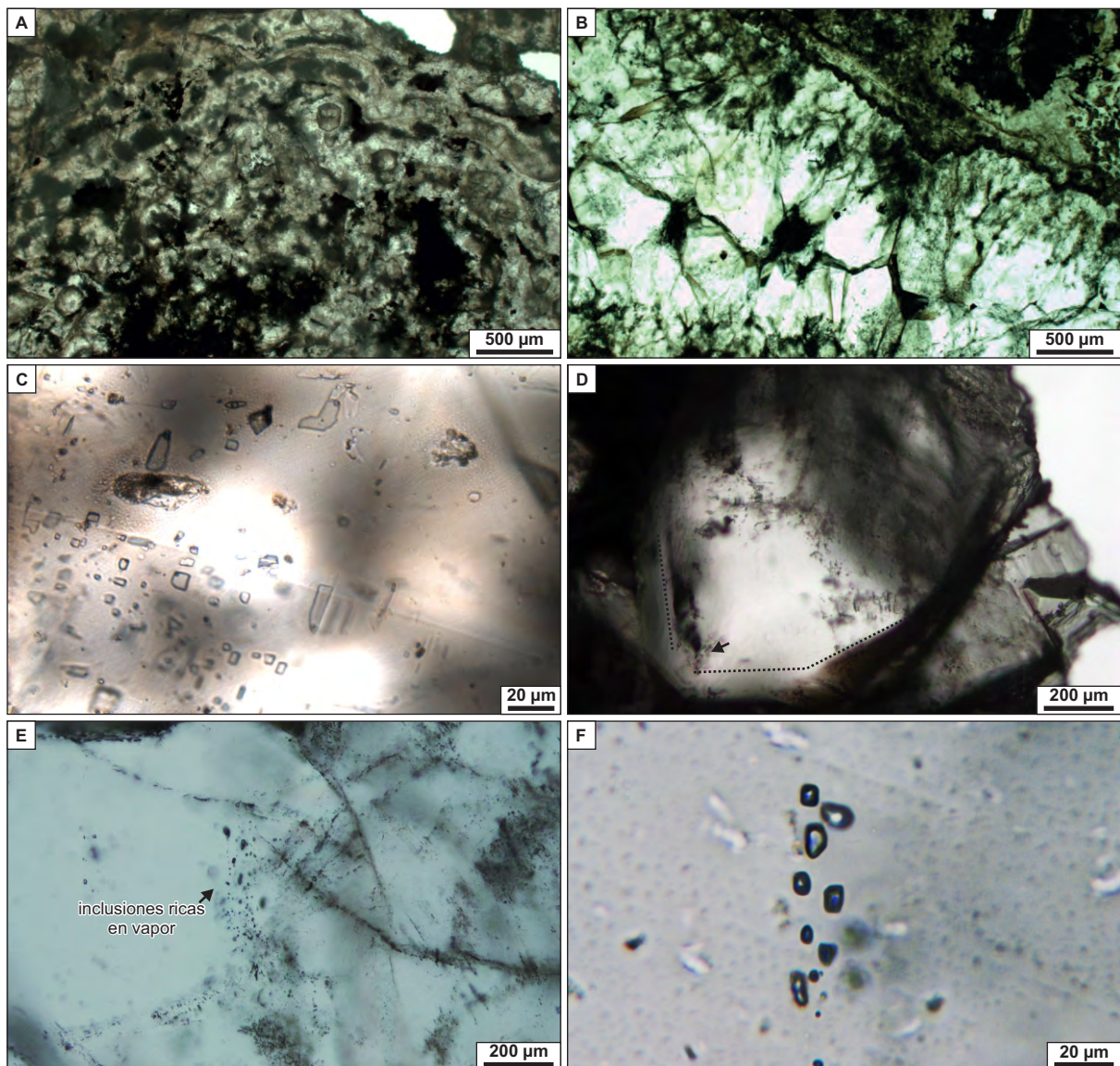
sulfuros, hasta bandas finas con textura en mosaico. Las inclusiones fluidas fueron determinadas en cristales en equilibrio de adularia tabular y cuarzo cristalino. También se estudiaron en pequeños cristales de cuarzo que rellenan cavidades en restringidas porciones del bandeado. Una sección bi-pulida de esta muestra fue estudiada en el microscopio petrográfico, con el objetivo de caracterizar su mineralogía y evaluar sus texturas. Luego, se identificaron de manera sistemática las distintas familias de inclusiones (FIAs) y sus características según los criterios de Goldstein & Reynolds (1994). Un total de 4 FIAs fueron seleccionadas para la realización de análisis microtermométricos, llevados a cabo en el Departamento de Ciencias Geológicas de la Universidad de Buenos Aires (UBA). Los ensayos fueron realizados en platinas calentamiento/enfriamiento Linkam FTIR-600, THMSG-600, montadas sobre microscopios ópticos con sus respectivos sistemas para la obtención de imágenes. De esta manera, se obtuvieron datos de temperaturas de congelamiento ( $T_m$ ), temperatura de homogenización ( $T_h$ ) y temperaturas del eutéctico ( $T_e$ ). Por último, la salinidad fue calculada a partir de los valores de  $T_m$  según los valores propuestos por Bodnar & Vityk (1994). Por otra parte, en el Laboratorio de inclusiones fluidas de la Universidad de Virginia (EEUU) se llevaron a cabo microanálisis en Laser ablation (LA-ICP-MS) utilizando un láser Microlas 193 nm ([www.coherent.com](http://www.coherent.com)) acoplado a un espectrómetro Agilent 7500 ce ([www.agilent.com](http://www.agilent.com)). Los elementos analizados fueron Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb, Ag, Au, As, Sb, Se y Te. La calibración fue realizada utilizando los estándares en vidrios de cuarzo puro NIST610 (ver Heinrich et al., 2003). La reducción de los datos fue realizada con el software AMS ([www.geochem.geos.vt.edu/fluids/](http://www.geochem.geos.vt.edu/fluids/)).

### *Resultados*

Los pequeños cristales de cuarzo que rellenan cavidades tienen inclusiones fluidas irregulares que no son estables cuando se ensayan, habiéndose formado a temperaturas  $<200^{\circ}\text{C}$  por fluidos tardíos no relacionados con la mineralización (Fig. 3.20B).

Las inclusiones primarias son bifásicas (90-95% líquido) con tamaños de 5 a 20  $\mu\text{m}$  y morfologías rectangulares en cristales de adularia y ovoidales en cuarzo (Fig. 3.20C, D). Las temperaturas obtenidas promedian los  $263^{\circ}\text{C}$  con salinidades 0,35% NaCl eq. (Tabla 3.3). Los datos de LA-ICP-MS arrojan contenidos anómalos en As y Sb (Tabla 3.4).

Por otra parte, se registraron trenes de inclusiones secundarias líquidas y de vapor que también registran algunos valores de As y Sb. A su vez, se encuentran trenes compuestos por inclusiones monofásicas ricas en vapor cortando a los cristales de cuarzo, adularia y



**Figura 3.20:** Texturas e inclusiones fluidas en Eureka West. **A)** Textura coloforme-crustiforme compuesta por finas bandas de cuarzo, de aspecto turbio donde no se registran inclusiones aptas para realizar mediciones. **B)** Bandas y/o cavidad rellena de cuarzo grueso con inclusiones inestables. **C)** Inclusiones primarias bifásicas de morfologías rectangulares y relaciones líquido-vapor constantes en adularia tabular del pulso 1 (muestra 21626). **D)** Inclusiones primarias bifásicas (flecha) en zonas de crecimiento (punteado) de cristales de cuarzo del pulso 1 (muestra 21626), MLT. **E)** Trenes de inclusiones secundarias monofásicas (flecha) ricas en vapor cortando a cristales de cuarzo, MLT. **F)** Detalle de las inclusiones monofásicas ricas en vapor. Microfotografías con luz transmitida en secciones bipulidas.

**Tabla 3.3:** Resumen de los resultados microtermométricos del análisis de inclusiones fluidas para Eureka West

Muestra	Pozo	Veta	Pulso	Mineral	n	Tipo	Te (°C)	Th rango (°C)	Th promedio (°C)	Tm rango (°C)	Tm promedio (°C)	Salinidad (%NaCl eq.)	Observaciones
21626_1_1	EDD-753	EK	1	Adularia	4	p	-	265-266	265,5	-	-	-	
21626_1_2	EDD-753	EK	1	Cuarzo	4	p	-	258,1-263,8	260,9	-0,1	-0,2	0,35	
21626#2_1_2	EDD-753	EK	1	Cuarzo		s	-	-		-0,1	-0,1	0,18	2 <sup>rias</sup> (LV+V)
21626#2_1_2	EDD-753	EK	1	Calcita		p	-20,8	-	-	-	-	-	2 <sup>rias</sup> (LV+V)

**Referencias:** Th: temperatura de homogenización; Tm: temperatura de fusión de hielo; Te: temperatura del eutéctico; p: primarias; s: secundarias; n: número de inclusiones medidas dentro de la familia.

**Nota:** Las salinidades fueron calculadas de acuerdo a Bodnar& Vityk (1993).

**Tabla 3.4:** Resultados de los análisis de LA-ICP-MS en inclusiones fluidas de Eureka West

Muestra	Pozo	Veta	Pulso	Mineral	tipo	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Se	Ag	Te	Au
21626_1_2	EDD-753	EK	1	Cuarzo	p	979	-	128	118	-	-	-	-	-	39	155	-	-	-	-
21626_1_2	EDD-753	EK	1	Cuarzo	p	1242	-	-	-	-	-	-	-	-	-	76	-	-	-	-
21626#2	EDD-753	EK	1	Cuarzo	s (L)	423	-	-	-	-	74	-	-	-	48	49	-	-	-	-
21626#2	EDD-753	EK	1	Cuarzo	s (V)	37	352	20	25	12	27	-	1	31	3	18	-	-	-	-
21626#2	EDD-753	EK	1	Cuarzo	s (V)	107	49	41	46	17	103	-	2	344	14	38	-	0,3	-	0,4

**Referencias:** p: primarias; s: secundarias (L) ricas en líquido (V) ricas en vapor.

**Nota:** Valores en ppm.

platycalcita (Fig. 3.20 E, F). Los análisis de LA-ICP-MS demuestran la presencia de metales como Fe, Pb, Zn, As, Sb y trazas de Au y Ag (Tabla 3.4).

#### 3.4.4.2. Isótopos estables

Los isótopos estables en sistemas hidrotermales indican una componente de aguas meteóricas principal con participación de aguas magmáticas (Simmons et al., 2005). La naturaleza de estos fluidos se estima mediante el estudio de relaciones isotópicas de H y O y su comparación con distintos tipos de aguas naturales. El mayor conocimiento de las características geológicas y de los fluidos permite evaluar con mayor precisión la interacción de los fluidos con las rocas encajantes, a fin de evaluar diversos procesos mineralizantes. El principal problema radica en que es muy difícil muestrear directamente al fluido (e.g. inclusiones fluidas), por lo que los datos obtenidos provienen de estimaciones derivadas de valores de referencia (e.g. minerales), asumiendo un serie de consideraciones.

#### *Metodología*

Fueron seleccionadas cuatro muestras para el análisis de isótopos estables (O y C) para Eureka West. Los análisis de Eureka West fueron llevados a cabo en el laboratorio ActLabs ([www.actlabs.com](http://www.actlabs.com)). Una muestra rica en adularia del pulso mineralizante 1 fue seleccionada para los estudios de isótopos de O. Tres muestras ricas en carbonatos, dos correspondientes al episodio 1 y una al pulso 5, fueron analizadas para obtener los contenidos isotópicos del C y O.

#### *Resultados de isótopos de O*

Los resultados de isótopos de  $\delta^{18}\text{O}$  varían entre 7 hasta  $\sim 13\text{‰}$  (Tabla 3.5). Para obtener los valores isotópicos de los fluidos hidrotermales en equilibrio con las adularias se utilizaron los datos obtenidos en las inclusiones fluidas ( $260^\circ\text{C}$ ) y las fórmulas de Zheng (1993). Los valores obtenidos varían entre 7,4 a  $1,7\text{‰}$  (Tabla 3.5).

Al plotear los resultados en el diagrama  $\delta\text{O}$  vs.  $\delta\text{D}$  junto con los valores obtenidos por López (2006) en cuarzo, se observa a partir de la composición isotópica del fluido, que las muestras de Eureka West, tienen una tendencia hacia el campo de aguas magmáticas (Fig. 3.21A).



### *Resultados de isótopos de C y O*

En Eureka West, la calcita y los carbonatos ocurren principalmente en bandas y brechas correspondientes al pulso 1 y 2 asociados a la mineralización de Au-Ag como también en vetillas y rellenos tardíos del pulso 5 (Figs. 3.6D, E, 3.7E). Los datos de inclusiones fluidas en adularias del episodio mineralizante principal, indican temperaturas de aproximadamente 260°C (Tabla 3.3).

Los resultados obtenidos fueron comparados con los datos isotópicos para lo travertinos del área (López, 2006). La composición isotópica de C registra pocas variaciones con valores entre -7 y -6‰, mientras que la composición isotópica del O calculada varía entre 4 y 5‰ para las muestras de calcita y alcanzan valores cercanos a 19‰ en la muestra con carbonatos de Fe- Mn del pulso 2 (Tabla 3.5).

La figura 3.21B muestra el diagrama C vs O donde los datos se plotean próximos a la curva correspondiente a  $\text{H}_2\text{CO}_3$  como especie dominante de carbono oxidado en el fluido (Faure, 1986). Resultados similares se encuentran en el sistema geotermal activo (Simmons & Christenson, 1994), en depósitos epitermales de Kushikino en Japón (Matsuisha, et al., 1985) y en otras mineralizaciones jurásicas del Macizo del Deseado (Echeveste, 2005; Moreira, 2005; Ruiz, 2012). La posición de la muestra de carbonatos de Fe-Mn correspondiente al pulso 2 se debe a su composición enriquecida en  $\delta^{18}\text{O}$ . Los valores de temperatura confirman los resultados obtenidos mediante inclusiones fluidas ( $T=260^\circ\text{C}$ ) para las calcitas del pulso 1 mientras que las calcitas del pulso 5 se sitúan a temperaturas aproximadas de 150°C.

Tomando las temperaturas medidas en las inclusiones fluidas de adularia del pulso 1 (260°C) y las estimadas para las calcitas tardías del pulso 5 (150°C) se determinó la composición isotópica de O y C del fluido en equilibrio con los carbonatos según O'Neil et al. (1969) y Friedman & O'Neil (1977), arrojando valores de entre -3 a -7‰ de  $\delta^{18}\text{O}$  y valores próximos a -5,5‰ de  $\delta^{13}\text{C}$  (Tabla 3.6; Fig. 3.21 C, D). Los valores de  $\delta^{13}\text{C}$  obtenidos están próximos a -6‰, similares a los obtenidos en descargas de gases de campos geotermales activos en Nueva Zelanda, los cuales representan un origen magmático para el C (ver Lyon & Hulston, 1984; Faure, 1986,). Estos resultados evidencian que la calcita formada tardíamente en el sistema, presenta una composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  más ligera (-7‰) respecto a los calculados para la platycalcita del pulso 1 (-3‰; Fig. 3.21A).



**Tabla 3.5:** Valores de isótopos de  $\delta^{18}\text{O}$  y de  $\delta\text{D}$  obtenidos para la veta Eureka West

Muestra	Pozo	Veta	Prof. (m)	Pulso	Mineral	Descripción	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{fluido}}$ VSMOW (‰)
21314	EDD-746	EK	509	1	adularia	adularia tabular gruesa	12,9	7,4*
15799	EDD-723	EK	364	1	adularia	adularia tabular gruesa	7,2	1,7*

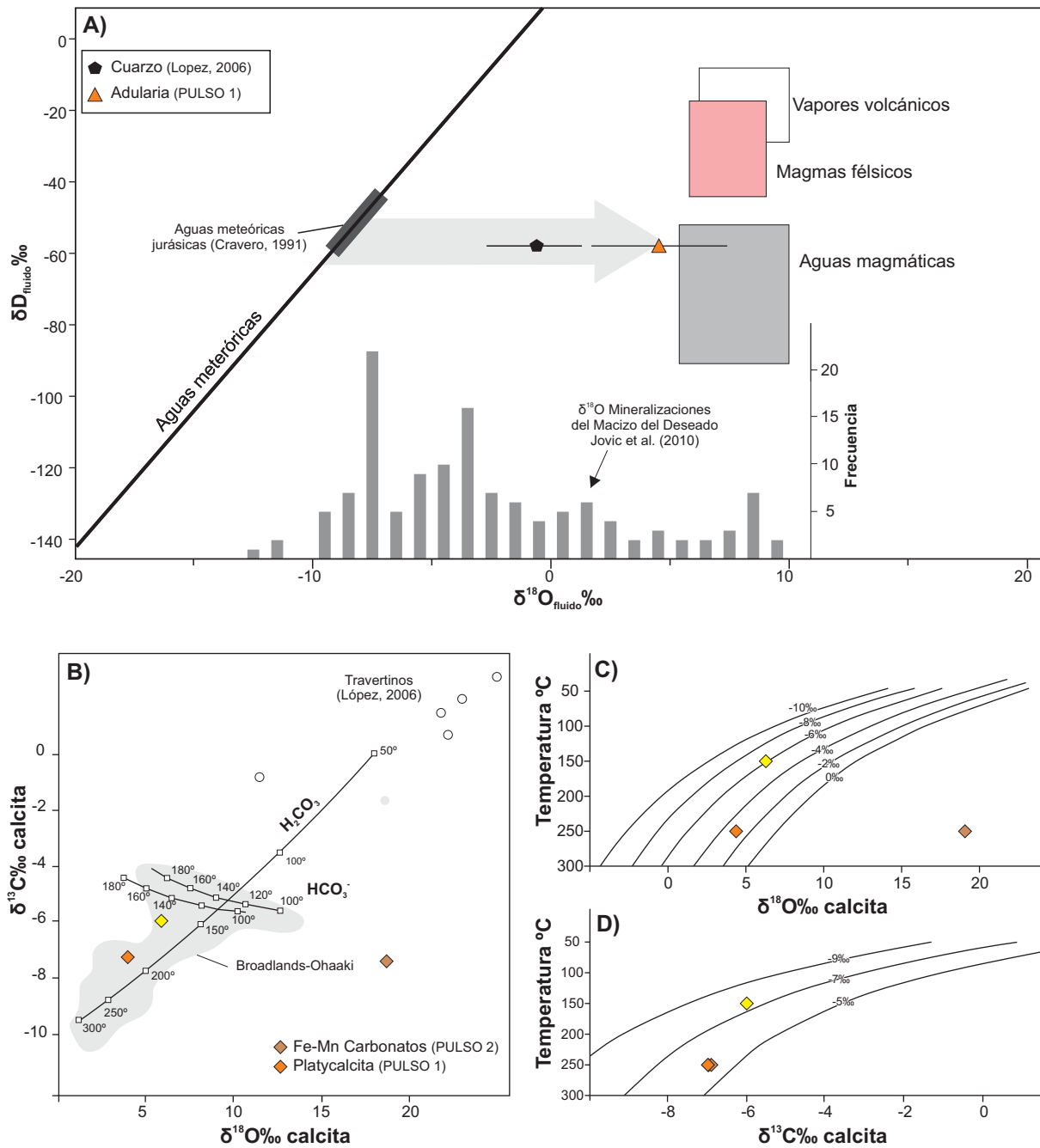
\* Según ecuación de Zheng (1993) a 260°C.

**Tabla 3.6:** Valores de isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  obtenidos para la veta Eureka West

Muestra	Pozo	Veta	Prof. (m)	Pulso	Mineral	Descripción	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{fluido}}$ VSMOW (‰)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{fluido}}$ VPDB (‰)
21314	EDD-746	EK	450	1	calcita	platycalcita en bandeado	-26,0	-7,27	4,06	-3,21*	-5,97**
15793	EDD-723	EK	438	2	Mn-Fe calcita	brecha	-11,8	-7,39	18,7	11,43*	-6,09**
21151	EDD-744	EK	534	5	calcita	vetillas masivas	-24,2	-6,12	5,91	-1,36*	-4,82**

\* Según ecuación de O'Neil, et al. (1969) a 250°C.

\*\* Según ecuación de Bottinga (1968), O'Neil et al. (1969) y Ohmoto & Rye (1979) a 250°C.



**Figura 3.21:** Isótopos estables de Eureka West. **A)** Diagrama isotópicos estables ( $\delta D$  vs.  $\delta^{18}O$ ) de los fluidos en equilibrio con las muestras de adularia del pulso 1 y de cuarzo de pulsos posteriores obtenidos por López (2006), (flecha indica tren evolutivo) y junto a diferentes campos de referencia tanto para la el Macizo del Deseado (Jovic et al., 2010) como así también rangos generales obtenidos para diferentes ambientes. Nota: las barras indican la variación de los valores para cuarzo y adularia. El valor de  $\delta D$  fue tomado del valor de referencia de Cravero (1991) para las aguas meteóricas jurásicas. Los valores para el Macizo del Deseado fueron compilados de Schalamuk et al. (1997), Guido (2002), Moreira (2005). **B)** Diagrama isotópicos estables ( $\delta^{13}C$  vs.  $\delta^{18}O$ ) en calcita comparando con los valores de travertinos del área (López, 2006) y utilizando los valores de referencias de Simmons y Christenson (1994) para la zona de Broadlands-Ohaaki (Nueva Zelanda). Las curvas representan la composición isotópica en equilibrio para una composición de  $\delta^{13}C = -7,5\text{‰}$  y  $\delta^{18}O_{\text{fluido}} = -6,0\text{‰}$ , según Simmons y Christenson (1994). La correlación positiva indica los isotópicos de C y O fueron equilibrados con  $H_2CO_3$  como especie dominante de carbono oxidado en el fluido entre  $300^\circ$  y  $50^\circ$ C. **C-D)** Composición  $\delta^{18}O$  y de  $\delta^{13}C$  vs. temperatura de los carbonatos. Las curvas representan la composición del fluido en equilibrio según la temperatura según Bottinga (1968), O'Neil et al. (1969) y Ohmoto & Rye (1979). Para la platycalcita y carbonatos de Fe-Mn se consideró una temperatura de  $\sim 260^\circ\text{C}$  medida en inclusiones fluidas, mientras que para la calcita tardía se utilizó la temperatura de  $150^\circ\text{C}$  obtenida en figura B, como valor de referencia.

### 3.4.5. Edad de la mineralización

Con el objetivo de obtener la edad de la mineralización en Eureka West, se llevo a cabo una determinación geocronológica, mediante el método de Ar/Ar, sobre cristales de adularia de una muestra procedente del pulso 1. Los estudios fueron llevados a cabo en la Universidad de Auburn (Alabama, Estados Unidos).

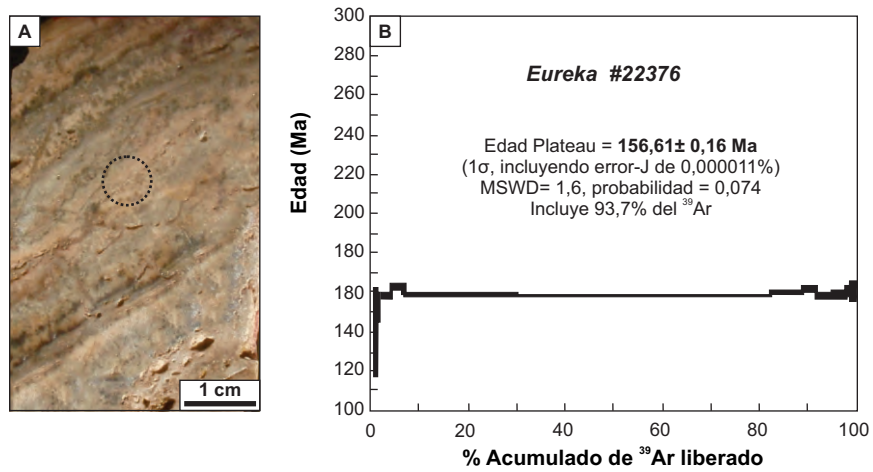
La muestra proviene de la parte central de la veta Eureka West y de unos 150 metros por debajo de la superficie. Se trata de un bandeo crustiforme-coloforme formado por finas a gruesas bandas de cuarzo y adularia intercrecidas con sulfuros (Fig. 3.22A). Los resultados revelan una edad plateau de  $156,61 \pm 0,16$  Ma (Fig. 3.22B, Anexo 3), lo que permite ubicar a la mineralización en el Jurásico Superior, más específicamente dentro del piso Oxfordiano.

## 3.5. Discusiones

### 3.5.1. Clasificación de Eureka West

En función de lo descrito anteriormente, Eureka West se corresponde con un sistema epitermal somero. Las principales características que permiten su clasificación se enumeran a continuación:

- 1) El sector oeste de la veta Eureka (de 850 metros de longitud) se aloja en una falla mayor de rumbo NO con una inclinación de  $75^\circ$  a  $90^\circ$ . Está compuesta por una rama principal y varias ramas secundarias hacia el bloque bajo de la estructura. La falla pone en contacto a la unidad Pórfido Andesítico con Ignimbritas Eureka Inferior y Andesitas Intermedias. Además en profundidad se registra un intrusivo de composición riódacítica alojado en el contacto de la falla hacia el bloque bajo de la estructura. Hacia el noroeste la veta es truncada por depósitos volcanoclásticos correspondientes a la Sección Superior.
- 2) La signature geoquímica en este sector de la veta refleja contenidos elevados de metales preciosos con relaciones de Ag:Au cercanos a 17:1, acompañados de Zn, Cu y Pb con una relación de  $1\frac{1}{2}:1:1$ , junto con elevados tenores de As. El clavo mineralizado tiene una morfología de hongo donde los mayores espesores y leyes se registran en las partes medias y de mayor inclinación, como menciona Corbett (2012) para los clavos (*ore shoot*) en fallas lítricas extensionales.
- 3) Se han identificado 6 pulsos mineralizantes agrupados en 4 episodios principales. Las texturas predominantes corresponden a bandeados crustiformes-coloformes de cuarzo,



**Figura 3.22:** A) Ubicación de la adularia extraída para geocronología (círculo) en muestra 22376 de Eureka West del pulso 1 que muestra un bandeo crustiforme-coloforme. B) Diagrama de tipo *step wise heating*  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  con la edad obtenida para la muestra.

adularia, carbonatos y brechas tardías ricas en óxidos. El principal episodio mineralizante (E1) se encuentra frecuentemente restringido y modificado por los sucesivos episodios posteriores. Las brechas por su parte aportan valores locales cuando afectan a pulsos de alta ley producto de procesos de removilizan, y enriquecen los contenidos de Au, Ag y Cu.

- 4) Los pulsos de alta ley tienen como principales minerales de mena principales: pirita, calcopirita, esfalerita y galena seguidos de sulfosales de plata, argentita y electrum. Estos se alojan en bandas restringidas de tipo *ginguro*, intercrecidas con cuarzo, y carbonatos. Las brechas por su parte contienen sulfosales de Ag.
- 5) La alteración hidrotermal se encuentra restringida formando un halo alrededor de la mineralización desde el exterior hacia la parte proximal, y está caracterizada por las asociaciones esmectita + clorita  $\pm$  calcita y esmectita - illita  $\pm$  clorita). Vinculado a un evento supergénico importante se sobreimpone la asociación caolinita  $\pm$  jarosita afectando la estructura principal.
- 6) Los fluidos mineralizantes arrojan temperaturas de 260°C y salinidades de hasta 2% NaCl eq., correspondientes al sistema H<sub>2</sub>O-NaCl-(KCl) dominado por aguas meteóricas con tendencia a aguas magmáticas y evidencias de ebullición.

De esta manera, Eureka West comparte las características descritas para los depósitos epitermales de metales preciosos de tipo baja sulfuración (Sillitoe, 1989, 1993; White & Hedenquist, 1995; Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003; Sillitoe & Hedenquist, 2003). Sin embargo algunas características principalmente del episodio 1 como la presencia de esfalerita pobre en hierro, calcopirita, ganga carbonática y relaciones de Ag:Au de ~20:1, son asignables a depósitos de tipo sulfuración intermedia (Hedenquist et al, 2000; Sillitoe & Hedenquist, 2003). La ocurrencia de depósitos epitermales con características de depósitos de baja sulfuración y de sulfuración intermedia es frecuente en algunos depósitos del Macizo del Deseado (e.g. Moreira, 2005; Fernández et al., 2008; Wallier, 2009; Paéz, 2012, entre otros).

Eureka West se encuentra espacial, temporal y genéticamente relacionada al vulcanismo andesítico-dácítico. En este sentido, Corbett & Leach (1997) distinguen una serie de depósitos epitermales en las cuales existe una relación genética entre el magmatismo y la mineralización. Esta tipología se asocia a grandes zonas extensivas en un ambiente de arco magmático de signatura calcoalcalina. Para los niveles someros, como los registrados en Eureka West, estos autores los agrupan en depósitos epitermales de tipo cuarzo-oro-plata



(*Epithermal quartz gold-silver*). El episodio 1 de Eureka West comparte varias características mencionadas para estos depósitos como bandeados crustiformes-coloformes de cuarzo, adularia, arcillas y/o carbonatos y la presencia de platycalcita. En estos depósitos la cantidad de sulfuros es baja y se caracterizan por la presencia de marcasita, pirita de baja cristalinidad (melnikovita), electrum con un 60-70% de plata, freibergita, galena, esfalerita, acantita, pearceíta-polibasita, proustita-pirargirita y plata nativa. Varias de estas fases han sido descritas en el episodio mineralizante principal (E1) de Eureka West. Además, la alteración hidrotermal está conformada por minerales que indican baja temperatura como esmectitas, illita-esmectitas, caolinita o cloritas, localmente con sericita y carbonatos. Estos depósitos se forman en la zona de mezcla de fluidos mineralizantes ascendentes (zonas con cuarzo grueso) con aguas frías someras (zonas de calcedonia). Las estructuras mayores focalizan la circulación de celdas hidrotermales dominadas por aguas meteóricas y en períodos activos son fluidos profundos de origen magmático (Rowland & Simmons, 2012).

Varias líneas de evidencias apuntan a la presencia de un componente magmática en el episodio mineralizante principal de Eureka West. Sillitoe & Hedenquist (2003) mencionan que las evidencias magmáticas suelen ser enmascaradas, durante la sucesiva actividad hidrotermal, y por las alteraciones producidas por aguas superficiales. Los sucesivos pulsos, ricos en cuarzo de baja temperatura indican que la actividad hidrotermal fue prolongada y a gran escala, comparable con ambientes geotermales activos como Yellowstone (Guido & Campbell, 2012).

### **3.5.2. Origen, evolución y naturaleza de los fluidos hidrotermales**

La discriminación de pulsos y episodios mineralizantes permite visualizar la evolución del depósito. En este sentido se distingue la formación del clavo Eureka West en 2 etapas principales, una primera etapa hidrotermal representada en los episodios E1 a E3 y una segunda etapa con una componente tectónica-hidrotermal evidenciada en el E4.

El primer episodio (E1) aporta las mayores leyes de metales preciosos al sistema y está caracterizado por predominio de bandeados crustiformes-coloformes y localmente brechas de expansión, compuestos por cuarzo con texturas de recristalización de sílice amorfa y/o calcedonia, adularia, calcita, carbonatos de Fe-Mn parcial y/o totalmente reemplazados, sulfuros y sulfosales. Las brechas se podrían haber generado por procesos de fracturamiento crítico que dan origen a rotación de fragmentos (brechas en mosaico), una abundante matriz y rellenos masivos. Jébrak (1997) indica que cuando la presión del fluido desciende en respuesta a una apertura brusca, generalmente por incremento de la permeabilidad, después

de un proceso fracturamiento hidráulico, provoca la inestabilidad de las paredes de la veta (fragmentos tabulares de bandeado), frecuentemente con rotación de fragmentos y rellenos masivos. Ejemplos de este proceso son las brechas de implosión en *jogs* dilatacionales (Sibson, 1986), o en la intersección de dos fallas en crecimiento.

Los sulfuros aumentan con la profundidad asociados a bandas oscuras de tipo *ginguro* intercrecidos con cuarzo, adularia y carbonatos. El oro se encuentra como electrum y como inclusión mecánica dentro de la pirita junto con esfalerita, galena y calcopirita, como también asociado a sulfosales del plata (polibasita-pearceíta y acantita) con valores de Au promedio de ~60% en peso y algunos con contenidos de Cu de hasta un 4 %. Dentro de las sulfosales de plata predominan los extremos ricos en As (pearceíta) y ha sido registrado selenio en cantidades significativas. Los valores obtenidos en inclusiones fluidas arrojan temperaturas próximas a los 260°C y salinidades bajas (<1 %NaCl eq.). Si bien la cantidad de datos obtenidos de inclusiones fluidas ha sido baja, existen evidencias de procesos de ebullición como mecanismo de depositación, vinculados al episodio mineralizante principal. Los datos de isótopos estables de oxígeno y calcita ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{13}\text{C}$ ) realizados sobre las adularias y calcita revelan un origen meteórico para el fluido aunque con un importante componente de origen magmático ( $\delta^{18}\text{O}$  entre -2,75 y -8,14‰). Los datos de isótopo de carbonatos no fueron tomados en cuenta por sus valores anómalos. Simmons & Christenson (1994) registran valores anómalos en isótopos de O en sideritas de Broadlands-Ohakki (Nueva Zelanda). Estos autores atribuyen estos valores a diferencias de fraccionamiento isotópico.

Los resultados de la datación Ar-Ar obtenidas en adularia arrojan valores de  $156,61 \pm 0,16$  Ma para el evento mineralizante principal.

En el segundo episodio (E2) los contenidos de metales preciosos disminuyen, con predominio de bandeados coloformes de cuarzo con variadas texturas de recrystalización de sílice amorfa y/ calcedonia, y un contenido decreciente de adularia. Hacia el final del episodio se registran vetillas de cuarzo y amatista.

El último episodio con características hidrotermales (E3) tiene un desarrollo localizado, compuesto por vetillas y rellenos de calcita. Los fluidos que dieron origen a las calcitas tardías en el sistema, presentan una composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  más ligera respecto a los calculados para el pulso 1 en adularia y platycalcita (-3 a 0‰) próxima a la de las aguas meteóricas. Si bien en Eureka este episodio tiene un desarrollo restringido, representa el descenso de aguas bicarbonatadas durante la disminución de la actividad hidrotermal. Simpson & Mauk (2002) indican para el depósito Favona escasas cantidades de calcita tardía originadas a partir de aguas calentadas por fase vapor ricas en  $\text{CO}_2$  en comparación con el

depósito aledaño Martha. Estos autores sugieren que estos fluidos fueron de importancia limitada y que podrían haber sido removidos del sistema hidrotermal debido a condiciones hidrológicas como por ejemplo una leve inclinación del paleonivel freático.

De manera tardía, durante el episodio (E4) de naturaleza hidrotermal-tectónica se genera, producto de una o varias reactivaciones tectónicas situadas en la falla principal a ambos lados de la estructura. Como resultado se generan cuerpos de brecha de falla y cataclásticas de cuarzo, óxidos de hierro, sulfuros y sulfosales de Ag, con clastos angulosos de la mineralización previa. En general, la deformación en estas rocas no está distribuida de manera homogénea, sino que se concentra en zonas que acomodan el movimiento dentro de cuerpos rígidos (*shear zones*), que se reactivan sucesivamente (Passchier & Trouw, 2005). Estas zonas se caracterizan por una mayor rotación de los clastos, junto con mayor cantidad de sulfuros como acantita, pirita y vetillas rellenas de pirargirita y pirita. Además, la presencia de granos de electrum de pulsos previos corroídos junto con óxidos de hierro, indica la participación de aguas oxidadas como se describe a continuación.

Si bien la edad de este último evento no se ha podido determinar, la veta Eureka West se encuentra alojada en una falla principal que ante cualquier reactivación tectónica ha concentrado la deformación en la región. Trabajos como los de Ramos (2002) y Giacosa et al. (2008), describen los distintos ciclos tectónicos que tuvieron lugar en el Macizo del Deseado. Durante el período Jurásico se caracterizó por su ambiente de tipo extensivo con desarrollo de fallas de rumbo principal ONO y NNE de tipo dextral-normal y NNE secundario, que controlaron tanto el vulcanismo como las mineralizaciones. Durante el Cretácico Inferior, el ambiente cambia a un régimen compresivo de orientación SO-NE, generando inversión en fallas jurásicas (fallas ONO pasaron a una cinemática transpresiva-sinistral y las fallas NNE como fallas inversas). Por último, partir del Mioceno se inicia el levantamiento de la Cordillera de los Andes que genera una elevación generalizada de la secuencia por reactivación inversa de las estructuras previas. De esta manera el episodio 4 pudo haberse originado y afectado por cualquiera de los ciclos mencionados inclusive durante el ciclo Andino.

### **3.5.3. Distribución de las alteraciones hidrotermales**

La distribución de las alteraciones hidrotermales en la veta Eureka corrobora la presencia de las 2 etapas principales descritas anteriormente. Durante la etapa hidrotermal (E1-E3) se distingue una distribución asimétrica hacia el bloque alto de la estructura con una

inclinación de 60-80°, quizás controlada por posición de la falla principal. La presencia de cuarzo, adularia, illita, clorita, calcita y pirita como minerales de alteración indican condiciones reducidas y de pH neutro como las descritas para las aguas cloruradas en sistemas geotermales activos (Simmons & Browne, 2000)

En profundidad, por debajo del nivel 300 msnm y, en contacto con las vetas se distingue la asociación *illita* ± *clorita* ± adularia ± cuarzo ± pirita reflejando condiciones de alta permeabilidad asociado al conducto principal (Browne & Ellis, 1970; Browne, 1978). Hacia la superficie se extiende hacia el bloque alto, acompañando a algunas ramificaciones secundarias. Esta asociación mineral refleja condiciones de temperaturas superiores los 250°C (Simmons & Browne, 2000) que están de acuerdo con los datos obtenidos en las inclusiones fluidas para el principal episodio mineralizante.

En niveles someros y distales del sistema la abundancia de arcillas aumenta a medida que aumenta la distancia del conducto reflejando condiciones menores de fluido/roca evidenciadas por la disminución en el contenido de cuarzo y adularia. En sistemas geotermales activos, las arcillas son sensibles a cambios en temperatura. Illita, esmectita y calcita se forman en presencia de aguas calentadas en fase vapor ricas en CO<sub>2</sub>. En este sentido la asociación *esmectita-illita* encontrada hacia el bloque alto, indica condiciones de temperatura de entre 150 a 220°C mientras que la asociación *esmectita* + *clorita* se forma a temperaturas menores a 150°. Estas asociaciones son acompañadas por pirita y calcita en cantidades variables. Las zonas lentiformes, con grados de alteración moderado a bajo, representan variaciones en la relación fluido/roca quizás controladas por variaciones en las propiedades reológicas de las rocas hospedantes.

La asociación caolinita (de baja cristalinidad) + óxidos de hierro (+ jarosita) se dispone por encima de la estructura principal por encima del nivel 300 msnm, de manera sobreimpuesta sobre alteraciones previas (e.g. illita + esmectita + adularia). Esta asociación se interpreta como producto de procesos supergénicos por el descenso de aguas meteóricas ácidas generadas por la oxidación los sulfuros primarios cerca de la superficie (e.g. Sillitoe, 2005). El descenso de estas aguas a niveles profundos se vio favorecido por la actividad de la falla a lo largo de la formación del depósito (e.g. Corbet & Leach, 1997).

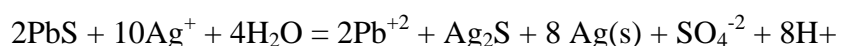
### 3.5.4. Características físico-químicas del episodio supergénico

Si bien los efectos supergénicos y de oxidación son menores en sistemas epitermales por su bajo contenido en sulfuros comparados con otros depósitos de mayor contenido como los pórfidos, en Eureka West estos procesos se destacan hasta al menos los 400 metros de profundidad. La ocurrencia de abundantes brechas y vetillas rellenas de óxidos de hierro, jarosita y caolinita, afectando a la mineralización principal sugieren el accionar de soluciones ácidas generadas en la zona vadosa por la oxidación de sulfuros primarios (Hedenquist et al., 2000; Sillitoe, 2005).

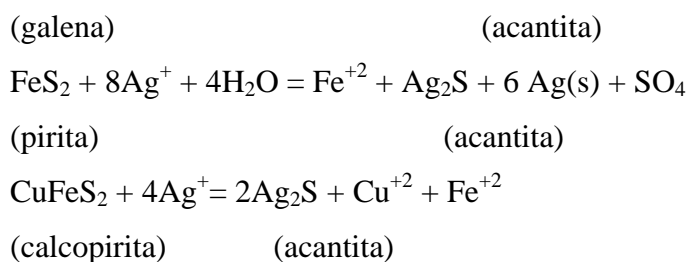
Eureka West presenta múltiples episodios de relleno y brechamiento.). Los sulfuros y sulfosales son escasos (1%), y han precipitado en etapas tempranas principalmente en finas bandas junto con arcillas, carbonatos y calcedonia, y/o diseminados en bandas de cuarzo. La paragénesis primaria está compuesta por electrum y sulfosales de plata (polibasita-pearceíta) acompañados por sulfuros de metales base (esfalerita, calcopirita, pirita y galena). Esta paragénesis está reemplazada parcial y/o totalmente por nueva paragénesis secundaria que incluye oro nativo y electrum rico en oro ( $\pm$  cobre), minerales de plata (acantita, plata nativa, mckinstryíta /stromeyerita, pirargirita y una amalgama de Ag-Hg) y en menor medida por minerales de cobre (covelina, calcopirita, calcosina, y ocasionalmente cuprita, malaquita y azurita) acompañados por óxidos e hidróxidos de Fe-Mn, caolinita y sulfatos secundarios.

La ocurrencia de texturas de reemplazo junto con una asociación mineralógica secundaria en la veta Eureka West, que aparecen desde la superficie topográfica actual hasta al menos los ~400 m de profundidad alcanzados por las perforaciones realizadas hasta el momento, sugiere una removilización de la Ag y Cu separando estos elementos de sus aleaciones con el oro, sulfuros y sulfosales. Este proceso se encuentra muy localizado debido a que los contenidos de sulfuros y sulfosales en el depósito no superan el 1%. Estos tipos de asociaciones secundarias producto de procesos supergénicos se describen en otros depósitos epitermales tales como MorningStar (Estados Unidos), Pongkor (Indonesia), Shila-Paula-Nazareño (Perú) y Broken Hills (Nueva Zelanda; e.g. Barton et al., 1978; Sheets et al., 1995; Greffie et al., 2002; Warmada et al., 2003; Chauvet et al. 2006; Cocker et al., 2013). En Eureka predomina la asociación acantita + plata nativa también común en varios de los depósitos mencionados.

Greffie et al. (2002) explican como la interacción de soluciones argentíferas con metales base generan halos de corrosión como por ejemplo en las siguientes fórmulas según Miller & Portillo (1981) y Scaini et al. (1995):





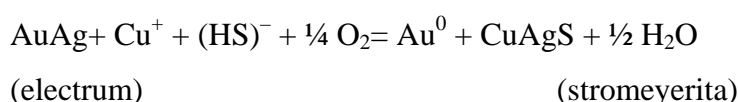


En Eureka West es común la ocurrencia de halos de acantita ( $\pm$ mckinstryíta/stromeyerita) rodeando a los metales base y a polibasita-pearceíta junto con anillos y/o masas irregulares de calcopirita que marca la interfase entre las sulfosales primarias y la acantita (Greffie et al., 2002). Por otra parte, se registra la corrosión de electrum primario (algunos con cobre) por electrum secundario rico en oro y acantita (y/o mckinstryíta/stromeyerita). Reemplazos similares con texturas de exolución de electrum, acantita acompañados de uytenbogaardtita, con rebordes de electrum rico en oro son descritos por varios autores (e.g., Barton et al. 1978; Castor & Sjöberg 1993; Sheets et al. 1995; Greffie et al. 2002; Chauvet et al., 2006; Pal'yanova & Savva, 2008). En Pongkor (Indonnesia) la asociación acantita + electrum predomina cerca de la superficie, mientras que en profundidad es acompañada por uytenbogaardtita. Sin embargo es difícil interpretar si esta asociación se forma en etapas tardías hipogénicas cuando el sistema hidrotermal se enfría y/o por procesos supergénicos. En el depósito Broken Hills, Cocker et al. (2013) interpretan que la asociación acantita + uytenbogaardtita + electrum no está vinculada a minerales supergénicos. Estos autores advierten que minerales de Au-Ag-S pueden formar soluciones sólidas a temperaturas altas que son inestables a bajas temperaturas evidenciados en texturas de desmezcla. Por ejemplo, la formación de acantita + electrum rico en oro (como también uytenbogaardtita + acantita) podrían haberse formado por la exolución de argentita rica en oro y electrum (rico en plata). Otra alternativa, es la formación por colapso de la uytenbogaardtita que reacciona con electrum rico en plata para formar acantita + electrum rico en oro. En Eureka West se han reconocido texturas de desmezcla en acantita de manera localizada en niveles superficiales.

En la veta estudiada, la removilización por oxidación se interpreta que se ha desarrollado a partir de procesos supergénicos. Las principales evidencias que demuestran el origen supergénico son: 1) la presencia de acantita, plata nativa, pirargirita, electrum rico en oro y/u oro nativo junto a covelina, cuprita, sulfatos secundarios, caolinita de baja cristalinidad y limonitas rellenas cavidades y vetillas tardías; 2) el predominio de estas cavidades y vetillas tardías en las porciones más superficiales, mientras que en profundidad

predomina el reemplazo in situ; 3) el reemplazo corrosivo de sulfuros de metales base por acantita y plata nativa; 4) la nueva generación de calcopirita dispuesta como reborde en acantita y/o como masas irregulares marcando la interfase entre las sulfosales primarias y la acantita.

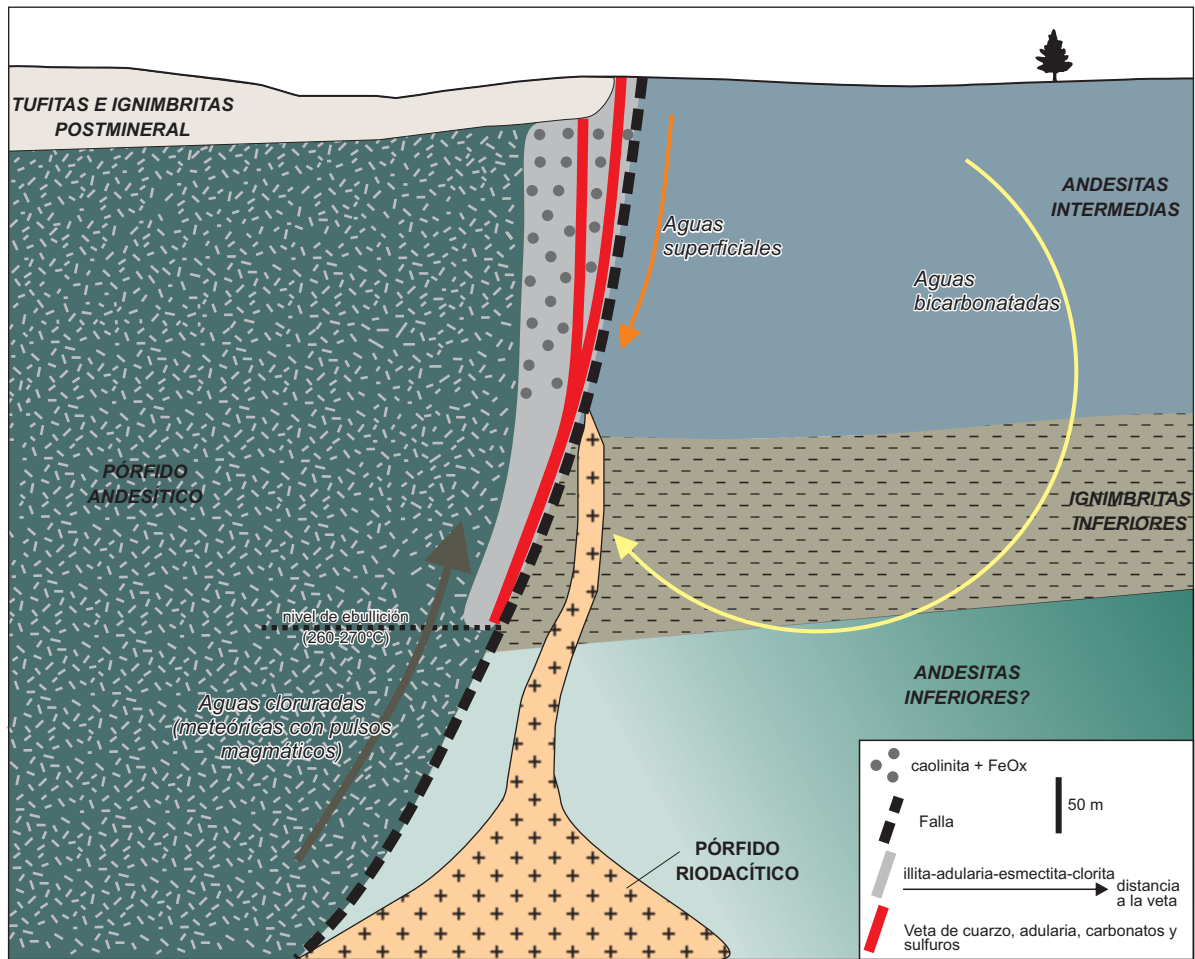
Por lo tanto, la corrosión del electrum primario se habría generado por la movilización de la plata originando una asociación acantita+Au-electrum y hasta amalgama de Au-Ag y Hg como residuo a bajas temperaturas (25°C según Krupp & Weiser, 1992, Youngson et al., 2002) Estos procesos también se mencionan para otros depósitos de similares características (Barton et al., 1978; Sheets et al., 1995; Greffie et al., 2002; Warmada et al., 2003; Chauvet et al. 2006; Cocker et al., 2013). De esta misma manera, la ocurrencia de electrum con Cu asociado a stromeyerita, pudo haberse generado por similares condiciones. Warmada et al. (2003) indican que a temperaturas <100°C se produce la disolución del electrum (con cobre) y reprecipitación de oro y stromeyerita o mckinstryíta tal como se indica mediante la reacción:



Los procesos supergénicos además están vinculados con la asociación de alteración hidrotermal compuesta por caolinita + óxidos de hierro ± jarosita que se dispone a lo largo de la estructura principal. Este tipo de alteración enmascara y se superpone a las alteraciones hipogénicas como por ejemplo con el reemplazo de la adularia e illita por caolinita de baja cristalinidad.

### 3.6. Resumen y conclusiones

Las principales características descritas en este capítulo se resumen de manera esquemática en la figura 3.23. Eureka West corresponde a una mineralización epitermal auro-argentífera de tipo intermedia a baja sulfuración con predominio de texturas bandeadas crustiformes-coloformes compuestas por calcedonia, cuarzo, adularia, carbonatos y sulfuros con sucesivos pulsos mineralizantes. En este sector, la veta está hospedada en las unidades Pórfido Andesítico hacia el bloque alto, y hacia el bloque bajo una secuencia volcánica dominada por Andesitas Intermedias e Ignimbrita Eureka Inferior intruídos por Pórfido



**Figura 3.23:** Diagrama esquemático mostrando las características principales la veta Eureka West.

Dacítico en profundidad. Hacia el extremo oeste y cerca de la superficie la veta está cubierta por depósitos postminerales con evidencias de erosión (fragmentos de veta en la base). La mineralización se formó a alrededor de los 156 Ma durante las últimas etapas del vulcanismo andesítico-dacítico (López, 2006)

Las observaciones realizadas permitieron definir 4 episodios principales, siendo 3 de naturaleza hidrotermal y el último de tipo tectónico-hidrotermal. La signatura geoquímica de las vetas corresponde a Au, Ag, As, Zn, Cu y Pb. La mineralización principal de Au-Ag se encuentra asociada a episodio 1 en bandas ricas en sulfuros oscuros y metales preciosos (*ginguro*) alcanzando hasta el momento los 400 metros de profundidad. El oro se encuentra como electrum con un 60% de plata (en algunos casos con cobre), asociado a las sulfosales de plata (polibasita-pearceíta). En las etapas finales, se sobreimpone un proceso supergénico que removiliza parcialmente el Au, Ag y el Cu. Los minerales de alteración hidrotermal incluyen cuarzo, adularia, illita, esmectita, y clorita. De manera tardía y restringida, la veta es cortada por vetillas y rellenos de calcita, que evidencian el accionar de aguas calentadas por fase vapor aunque gran parte podría haberse retirado del sistema hidrotermal. La distribución de alteraciones corresponde a una raíz de mayor temperatura que se extiende hacia el bloque alto de la veta, con un descenso de la temperatura hacia la superficie y alrededores de la estructura principal. A lo largo de la estructura principal la asociación caolinita + óxidos de hierro se sobreimpone sobre las alteraciones hipogénicas hasta al menos los 400 metros de profundidad.

Las inclusiones fluidas indican que el fluido mineralizante alcanzo temperaturas de entre 260° entre 1 y 2% de NaCl eq. con evidencias de ebullición. Los datos de isótopos estables establecen un origen meteórico para las aguas con un importante aporte magmático para el principal evento mineralizante (pulso de sulfuración intermedia) y composiciones de aguas calentadas por fase vapor para episodios tardíos. En función de la información descrita con anterioridad, Eureka West puede clasificarse como un sistema epitermal de ebullición somera (o *hot spring type*), producto de un retraso de la ebullición de los fluidos ascendentes en el sistema hidrotermal con un posible aporte magmático para el episodio principal y afectado por procesos supergénicos (Nelson & Giles, 1985; Saunders, 1996; Hedenquist et al., 2000; Corbett 2004; Simmons et al., 2005).

## Capítulo 4:

### **El sistema epitermal aurífero Marianas-San Marcos, distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, Argentina.**

#### **4.1. Introducción**

Los niveles someros de los sistemas epitermales están representados por características diagnósticas como son las brechas de erupción hidrotermal, depósitos geotermales (*hot spring*), sedimentos lacustres y/o depósitos de caída silicificados, alteración producida por aguas calentadas por fase vapor, *stockworks* o red de vetillas por encima de vetas principales (Nelson & Giles, 1985; Hedenquist et al., 2000; Corbett, 2004; Simmons et al., 2005). El Macizo del Deseado es una provincia geológica que se caracteriza por la preservación de sistemas hidrotermales fósiles de edad Jurásico Superior incluyendo vetas y brechas con Au-Ag, y depósitos de *hot spring* (Schalamuk et al., 1999; Guido & Schalamuk, 2003; Echavarría et al., 2005; Fernández et al., 2008; Guido & Campbell, 2011).

El sistema Marianas-San Marcos se sitúa al noreste de la veta Eureka, en el sector oeste del distrito Cerro Negro (Figs. 2.2, 4.1), y se encuentra compuesto por vetas epitermales Au-Ag de importantes espesores y longitudes alojadas en fallas secundarias con fuerte inclinación, rellenas de múltiples pulsos y episodios mineralizantes. Las vetas están compuestas por cuarzo, adularia, esmectitas y calcita principalmente, en su mayoría presentan texturas crustiforme-coloforme y brechamiento en menor medida, y están alojadas en las Andesitas Inferiores. Las texturas reconocidas, la mineralogía de mena y ganga, y la alteración hidrotermal permiten clasificarlas como vetas de baja sulfuración (Sillitoe, 1989 & 1993; White & Hedenquist, 1995; Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003; Sillitoe & Hedenquist, 2003; Simmons et al., 2005).

Este sistema representa aproximadamente el 50% del total de reservas de Au y Ag del distrito con 14 Mt con 9,18 g/t Au y 72 g/t de Ag totalizando unas 32,6 Moz de Ag y unas 4,16 Moz de Au ([www.goldcorp.com](http://www.goldcorp.com)). En este sentido, el sistema Marianas-San Marcos se posiciona como la mayor reserva de Au del Macizo del Deseado y uno de los principales descubrimientos a nivel mundial. Además, dos de sus principales vetas (Mariana Central y Mariana Norte) tienen la particularidad de haber sido descubiertas mediante un mapeo de rodados (*floats*) de veta y realizando perforaciones de tipo abanico (*fence*) con una



orientación NE-SO, por debajo de ~50 m de espesor de depósitos originados por un evento de erupción hidrotermal post-mineralización (Shatwell et al., 2011; Permuy Vidal et al., 2013a).

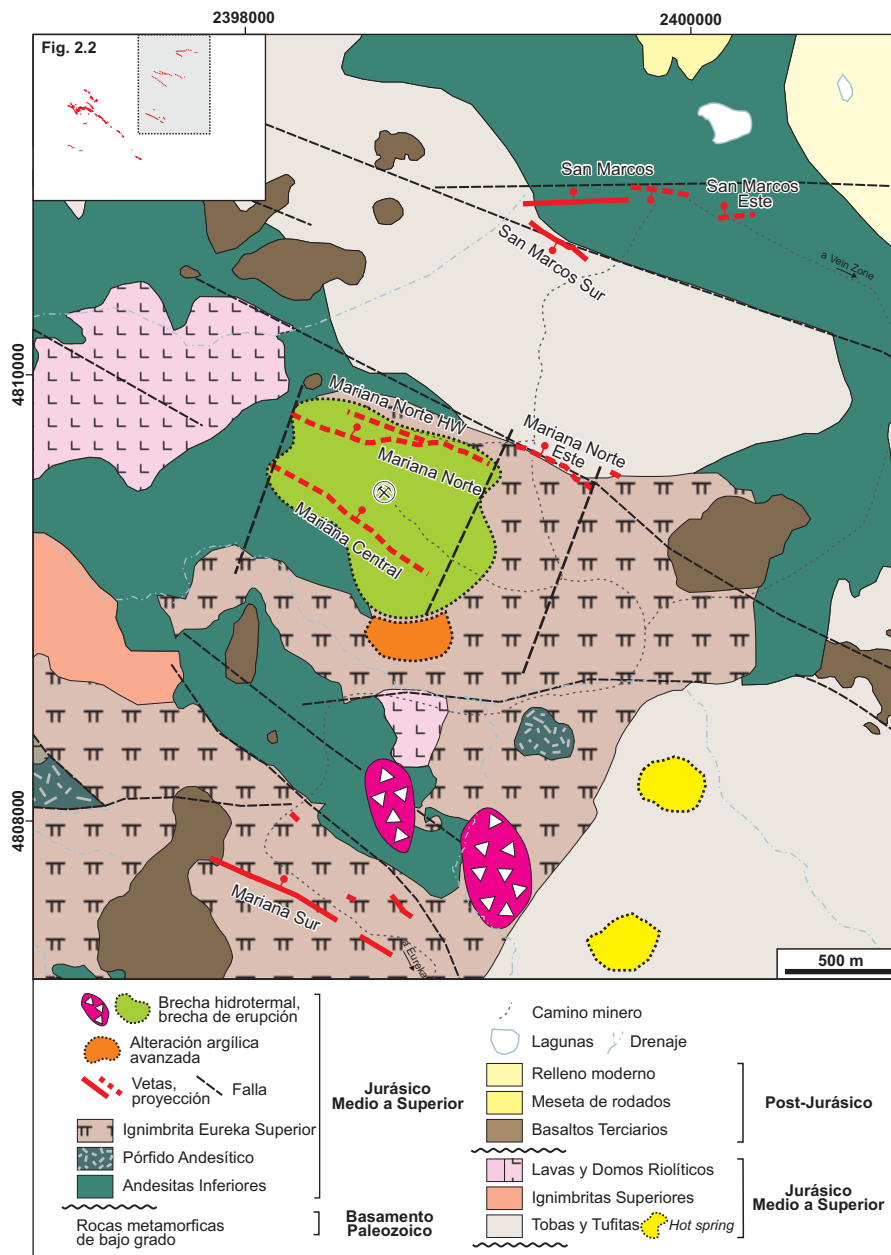
En este capítulo se describe y caracteriza en detalle al sistema Marianas-San Marcos, analizando sus características mineralógicas, texturales, geoquímicas, cómo también el origen (isótopos estables) y propiedades (composición, temperatura y salinidad) del fluido mineralizante, y los procesos que permitieron la precipitación de los metales. Además se aborda la relación temporal con el vulcanismo mediante dataciones en minerales de mena (edad de mineralización).

## **4.2. El sistema Marianas-San Marcos**

El sistema Mariana-San Marcos está compuesto por una serie de vetas principales que ocupan fallas mayores y/o secundarias en los límites de una estructura de tipo hemigraben de rumbo NNO ocupando un área de 16 km<sup>2</sup>. Las vetas están alojadas en las Andesitas Inferiores y parcialmente cubiertas por depósitos de tipo brechas de erupción hidrotermal con depósitos volcanoclásticos interdigitados (Mariana Central y Mariana Norte). La expresión de las vetas en superficie se restringe a escasos afloramientos, rodados y/o *floats* con textura de relleno epitermal (Permuy Vidal et al., 2012).

Hacia el sur del sector se presentan las vetas Marianas (Fig. 4.1), las cuales están compuestas por segmentos de rumbo NO y ONO, siendo las de mayor relevancia la veta Mariana Central de orientación N305° y Mariana Norte de rumbo N260°, ambas con fuertes inclinaciones hacia al norte (60° a 80°). Además, se incluye la veta Mariana Sur con un azimut de N300°, poco explorada hasta el momento.

La veta Mariana Norte consiste en un segmento principal ONO con ramificaciones hacia la caja alta definido hasta la actualidad a lo largo de 850 metros en el rumbo, con mineralización hasta los 350 metros debajo de la superficie. Recientemente ha sido descubierto un nuevo segmento hacia el SE, desplazado unos 150 metros hacia el norte, denominado Mariana Norte Este, y que se desarrolla a lo largo de unos 700 metros. El segmento principal tiene un espesor promedio de 3,5 metros, alcanzado los 10 metros de espesor máximo y continuando la mineralización de la estructura en una rama paralela secundaria hacia el norte (Mariana Norte Hangingwall) y en la continuación dislocada de la estructura hacia el este (Mariana Norte Este). La veta Mariana Central está compuesta por un segmento principal NO con ramificaciones hacia la caja alta y baja. Hasta la actualidad se



**Figura 4.1:** Mapa geológico de detalle del sistema Marianas-San Marcos. En recuadro, ubicación del área detallada respecto de la figura 2.2.

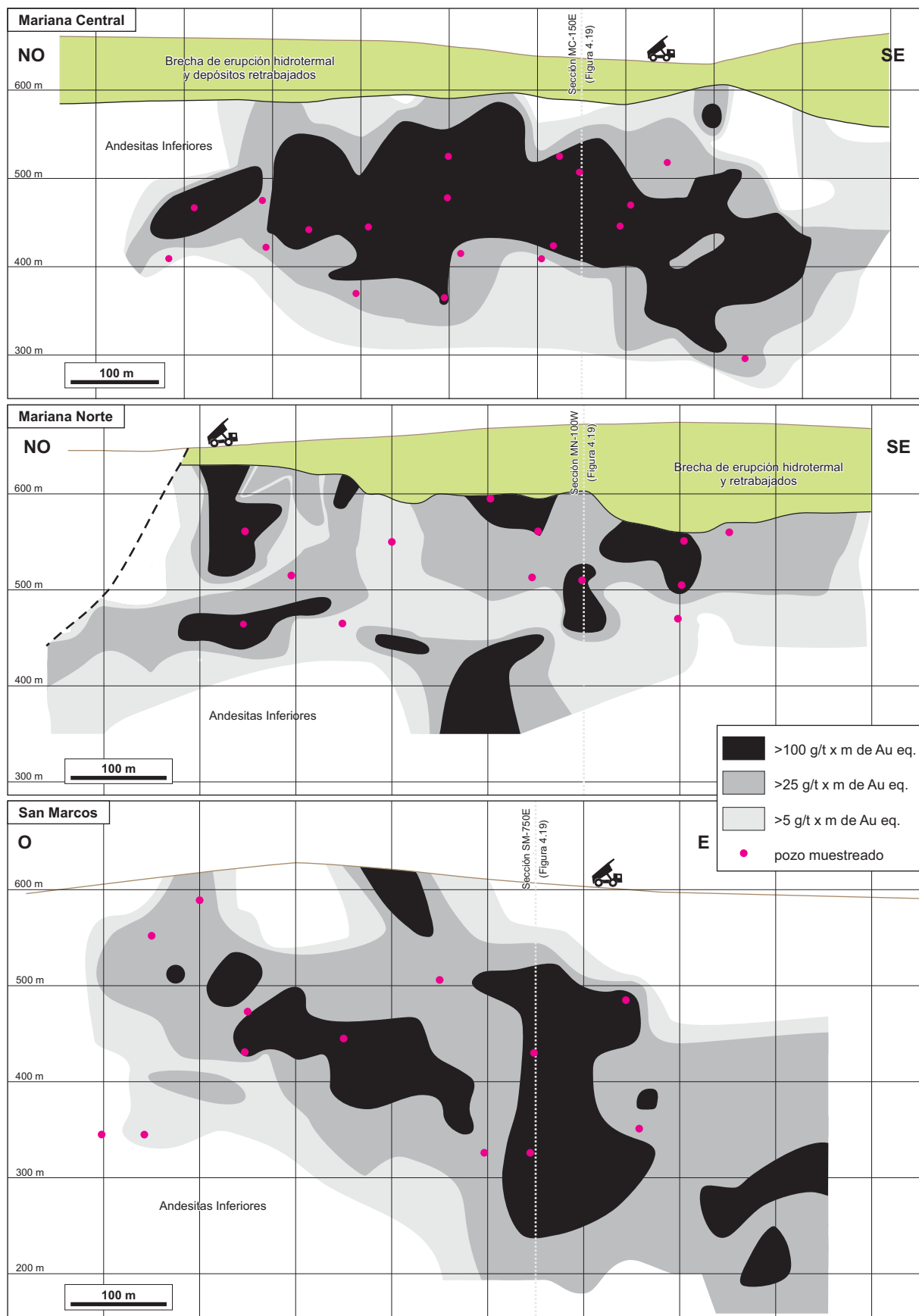
registra a lo largo de 950 metros en el rumbo con un espesor promedio de 5 metros, alcanzando los 20 metros en los sectores más potentes.

Hacia el norte, las vetas correspondientes a San Marcos comprenden dos estructuras principales asociadas a una falla mayor de rumbo NO e inclinación hacia el sur. La mineralización es discontinua en la zona de falla principal a lo largo de 300 metros en el rumbo y perforada hasta los 300 metros de profundidad (San Marcos Sur). La veta con mejor desarrollo corresponde a una rama secundaria o *splay* de rumbo E-O con fuerte inclinación entre 85° a 90° hacia el norte en la parte oriental y hacia el sur en el extremo occidental, denominada veta San Marcos. La mineralización se registra a lo largo de 800 metros en el rumbo, se ha explorado hasta los 400 metros por debajo de la superficie y presenta espesores promedios de 4 metros, alcanzando máximos de hasta 15 metros. En la actualidad la exploración se dirige hacia el este, en la prolongación dislocada hacia el sur denominada San Marcos Este (Fig. 4.1).

### **4.3. Episodios y pulsos mineralizantes**

Las tareas realizadas consistieron en la caracterización de detalle de los pulsos mineralizantes presentes en las vetas, para luego realizar un muestreo selectivo en perforaciones seleccionadas que permitan caracterizar a toda la estructura vetiforme, tanto a lo largo del rumbo como en profundidad. Para ello se confeccionó una grilla de pozos representativos para cada estructura (24 para Mariana Central, 13 para Mariana Norte y 14 para San Marcos) ubicados en diferentes sectores y profundidades de las mineralizaciones consideradas (Fig. 4.2). Para esta selección fueron consideradas las variaciones de ley de Au y Ag y de espesor de veta en las secciones longitudinales. Con esta información se identificaron los pozos a estudiar, y posteriormente se llevó adelante el estudio detallado (mapeo y muestreo de los pulsos de mineralización y de las rocas de cajas asociadas) de los testigos de perforaciones.

En total fueron tomadas 373 muestras de testigos para los distintos estudios, las cuales se han empleado con el fin de caracterizar cada pulso textural y mineralógicamente mediante diferentes técnicas incluyendo petrografía y calcografía (minerales de mena y opacos), Rayos X (arcillas); microscopio electrónico SEM-EDS (minerales de mena y de ganga); microsonda electrónica (minerales de mena). Toda la información integrada permitió elaborar un



**Figura 4.2:** Secciones longitudinales de las vetas del sistema Marianas-San Marcos, con las curvas de distribución de Au equivalente (Au+Ag/60) por el espesor, y los pozos muestreados para los estudios realizados.

diagrama paragenético compuesto por 10 pulsos agrupados en 4 episodios mineralizantes principales (Fig. 4.3).

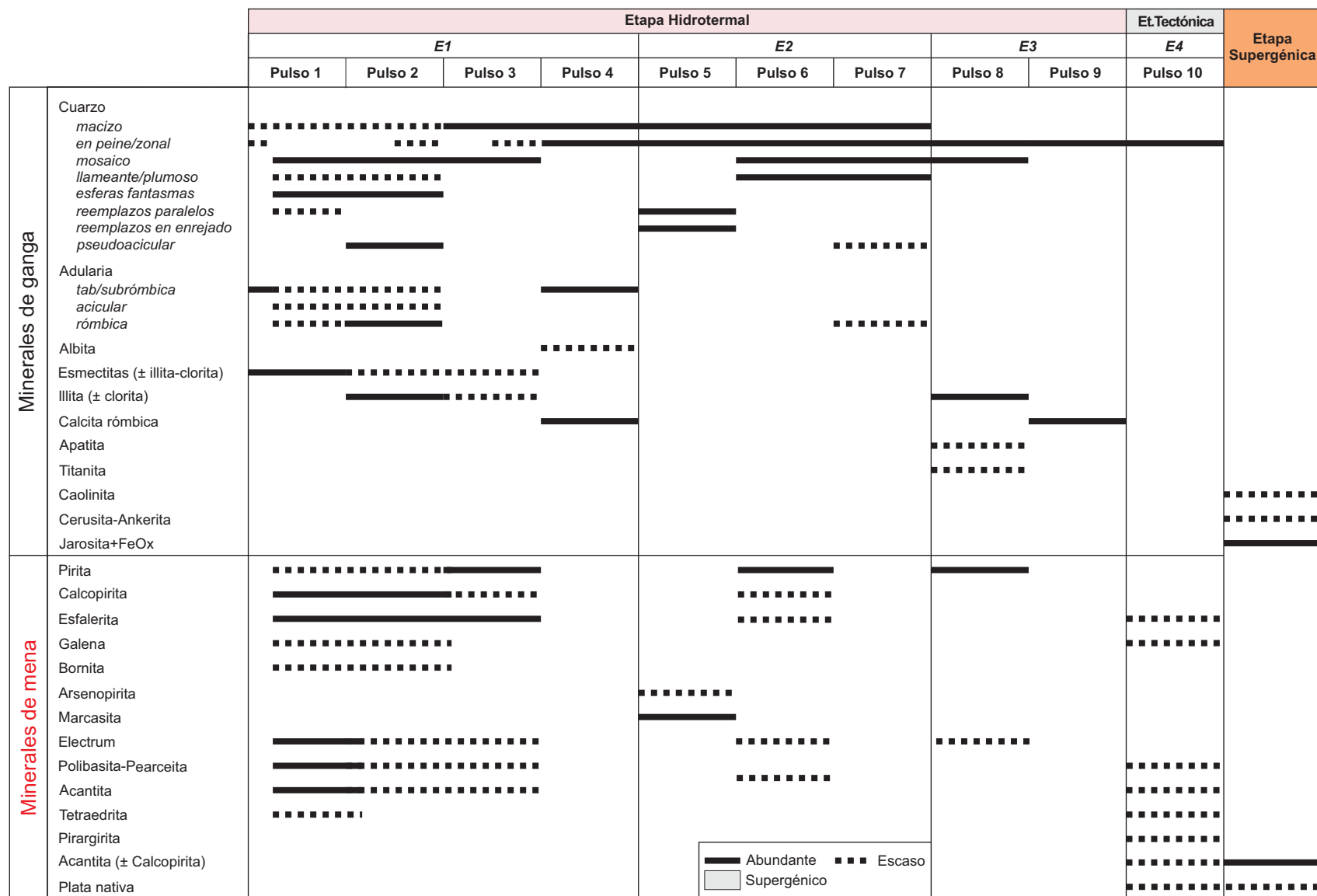
El sistema de vetas Marianas-San Marcos está compuesto principalmente por vetas de cuarzo- adularia con Au-Ag, caracterizadas por sucesivos pulsos mineralizantes principalmente con texturas de relleno bandeado y brechas en menor medida.

El primer episodio (E1) está compuesto por 4 pulsos mineralizantes principales localizados preferentemente hacia las paredes de las estructuras y/o como clastos rodeados de episodios posteriores. Está compuesto mayormente por bandeados crustiformes-coloformes de cuarzo con contenidos decrecientes de adularia y esmectitas (Figs. 4.4, 4.5). Frecuentemente se observan con texturas de reemplazo de calcita, ceolitas y/o adularia acicular. Las mayores leyes de Au y Ag se asocian a restringidas bandas oscuras al inicio del episodio, de tipo *ginguro bands* (e.g. Izawa et al. 1990) ricas en electrum, sulfuros y sulfosales de plata intercrecidos con cuarzo y arcillas en agregados subcirculares finos intercrecidos con cuarzo gris y/o de manera diseminada entre cristales de cuarzo. De manera tardía este episodio registra brechas de arcillas (esmectitas) junto con cuarzo que cortan a los bandeados.

El segundo episodio (E2) está conformado por 3 pulsos que ocupan entre un 70 a 75% total de las estructuras (Fig. 4.4). Consiste en rellenos masivos, brechas y vetillas de cuarzo grueso translúcido y amatista, con desarrollo de texturas de reemplazo de minerales aciculares (ceolitas) y de calcita en su variedad platycalcita y cantidades menores de adularia (Figs. 4.3, 4.6). Los contenidos de metales decrecen respecto del E1, solo encontrándose valores de Au en algunas muestras que llevan clastos de E1.

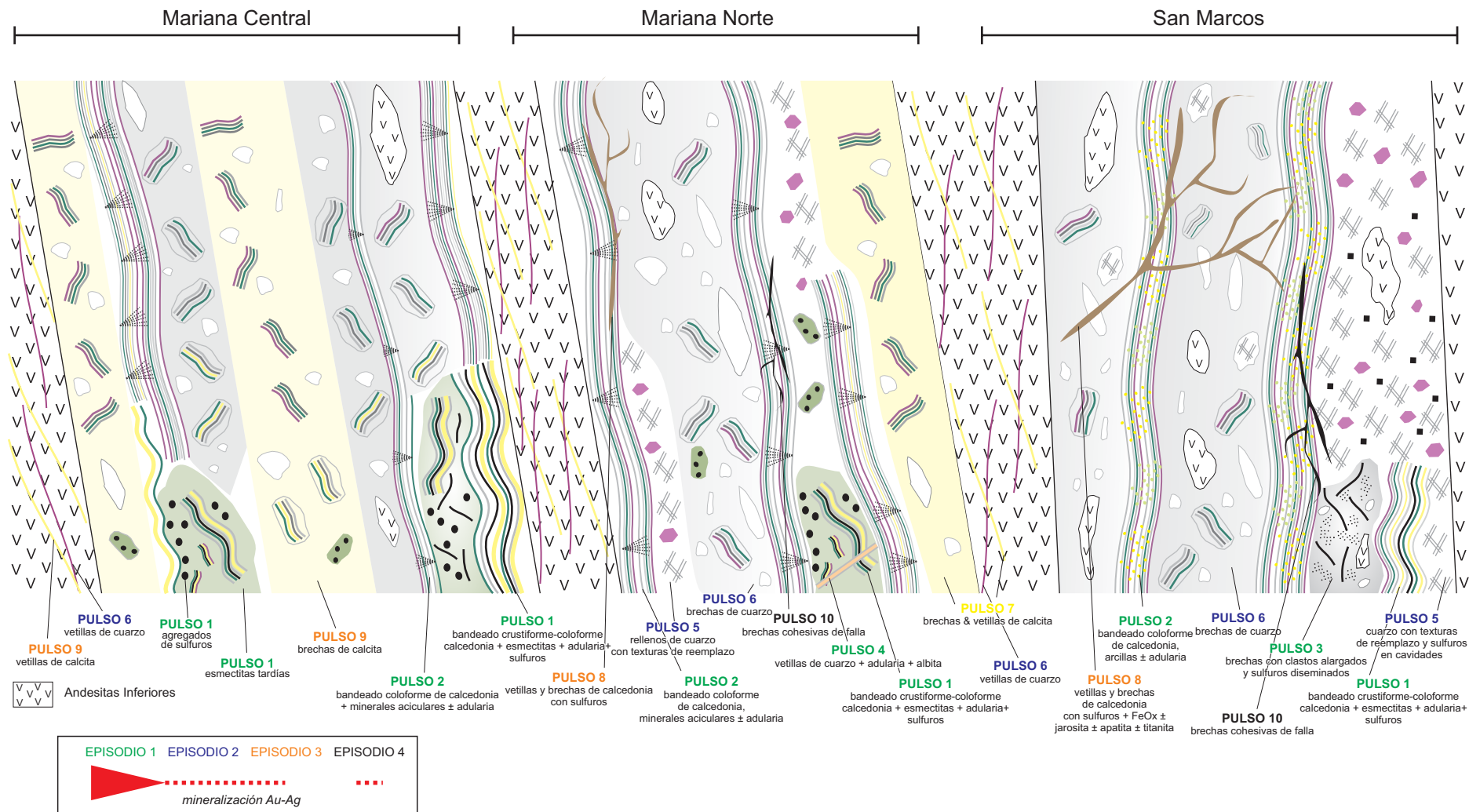
El tercer episodio (E3) está caracterizado por dos pulsos principales, el primero se restringe a niveles someros principalmente en Mariana Norte y San Marcos y está compuesto por vetillas y rellenos bandeados de cuarzo con inclusiones de hematita, acompañado por cantidades variables de pirita (Figs. 4.3, 4.4, 4.7). Por sectores este pulso lleva mineralización aurífera asociada al electrum incluido en la pirita. El segundo pulso tiene un amplio desarrollo en todo el sistema y se compone de rellenos, vetillas y brechas de calcita cristalina y cantidades menores de cuarzo. Este episodio es netamente tardío, con relaciones de corte sobre los episodios previos, y estéril (Figs. 4.3, 4.4, 4.7).

El cuarto episodio (E4 “tectónico-hidrotermal”) tiene un desarrollo restringido siendo observado en las vetas Mariana Norte y San Marcos (Figs. 4.4). Consiste en un solo pulso caracterizado por brechas de cuarzo, sulfuros y hematita de carácter tectónico-hidrotermal (Figs. 4.3, 4.7). Este episodio es claramente tardío, con desarrollo brechas de falla incluyendo

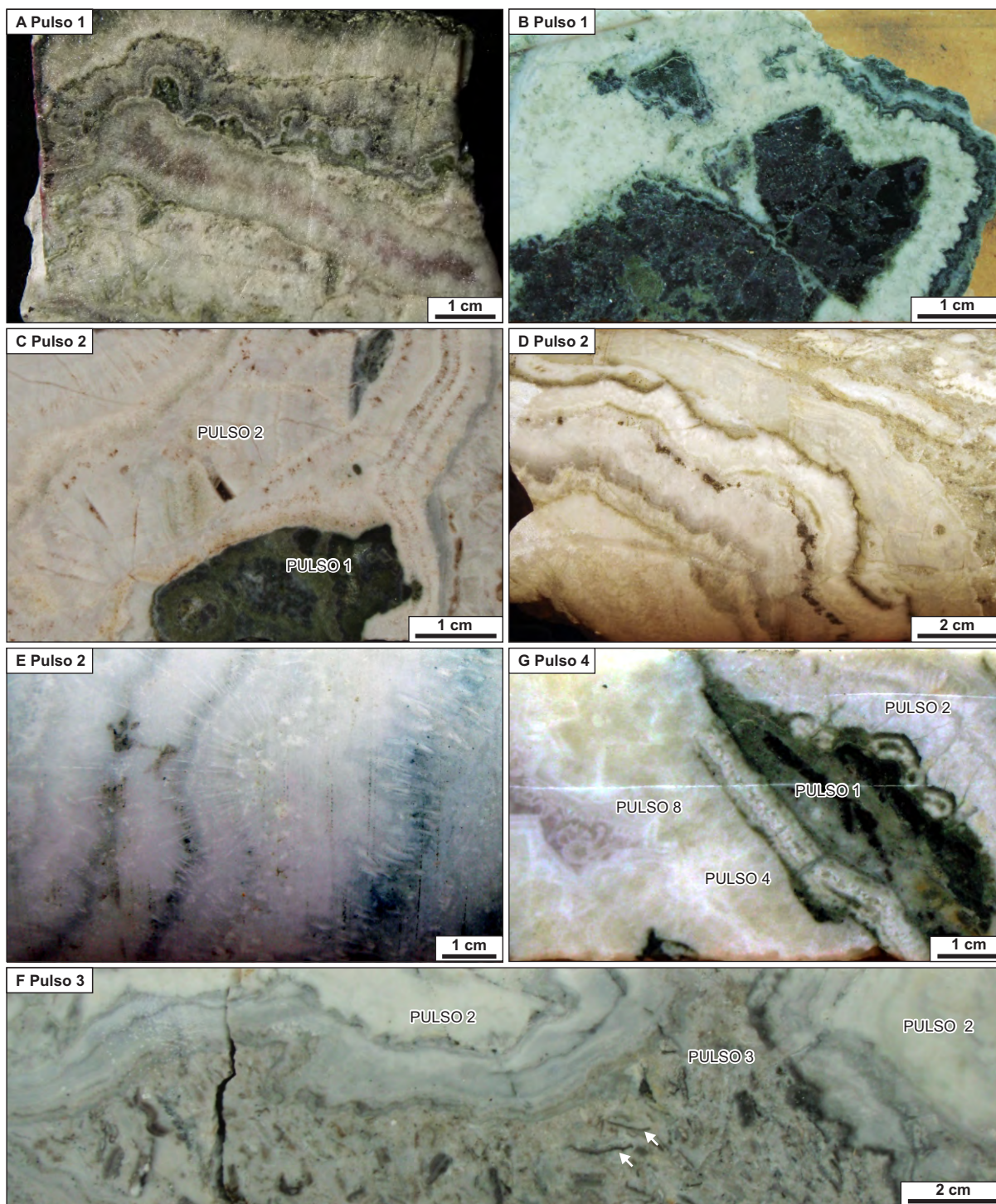


**Figura 4.3:** Diagrama paragenético con la mineralogía de pulsos y episodios mineralizantes para el sistema Marianas-San Marcos.



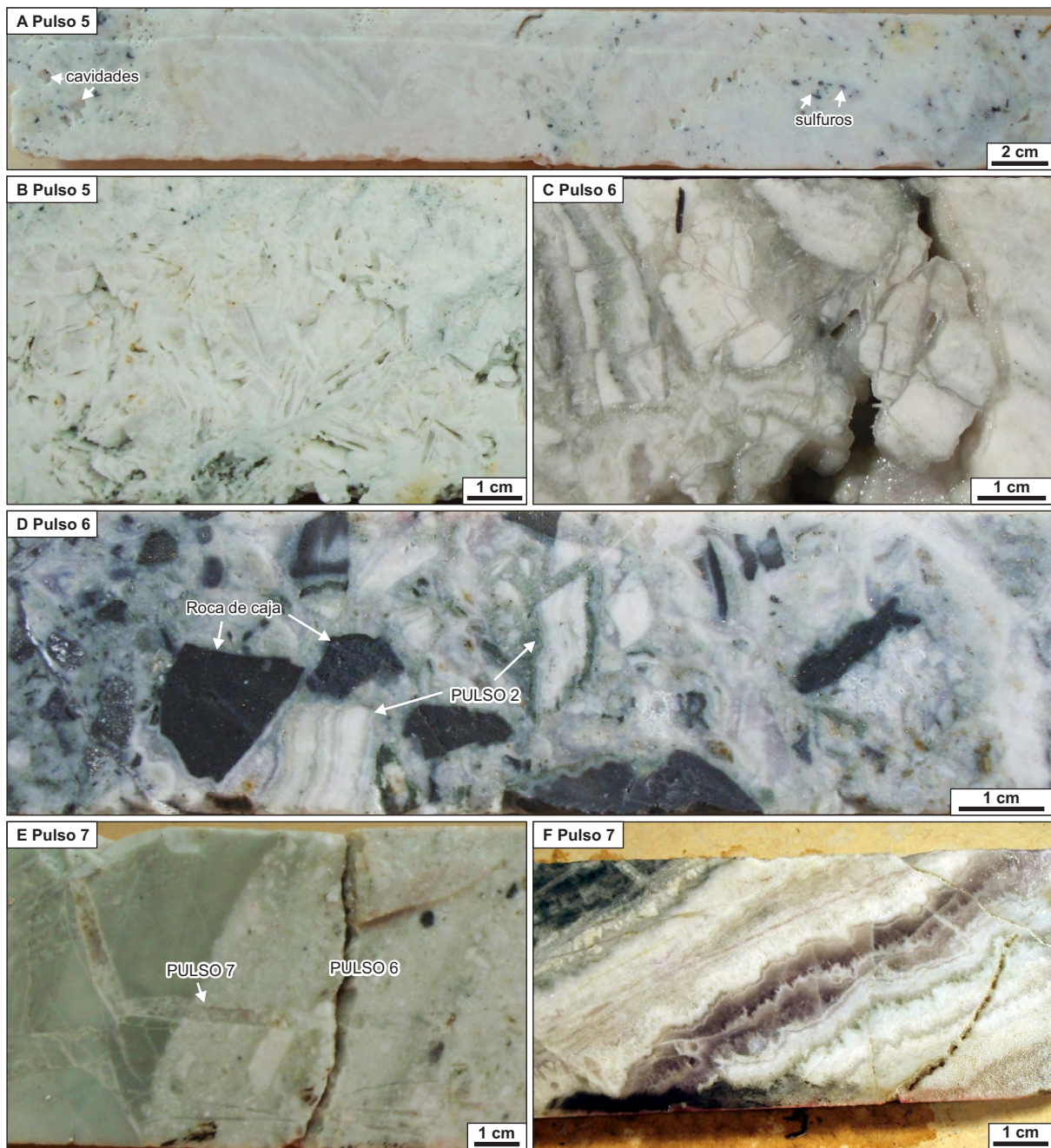


**Figura 4.4:** Dibujo esquemático de la distribución y características de los episodios y pulsos mineralizantes para las principales vetas del sistema Marianas-San Marcos.



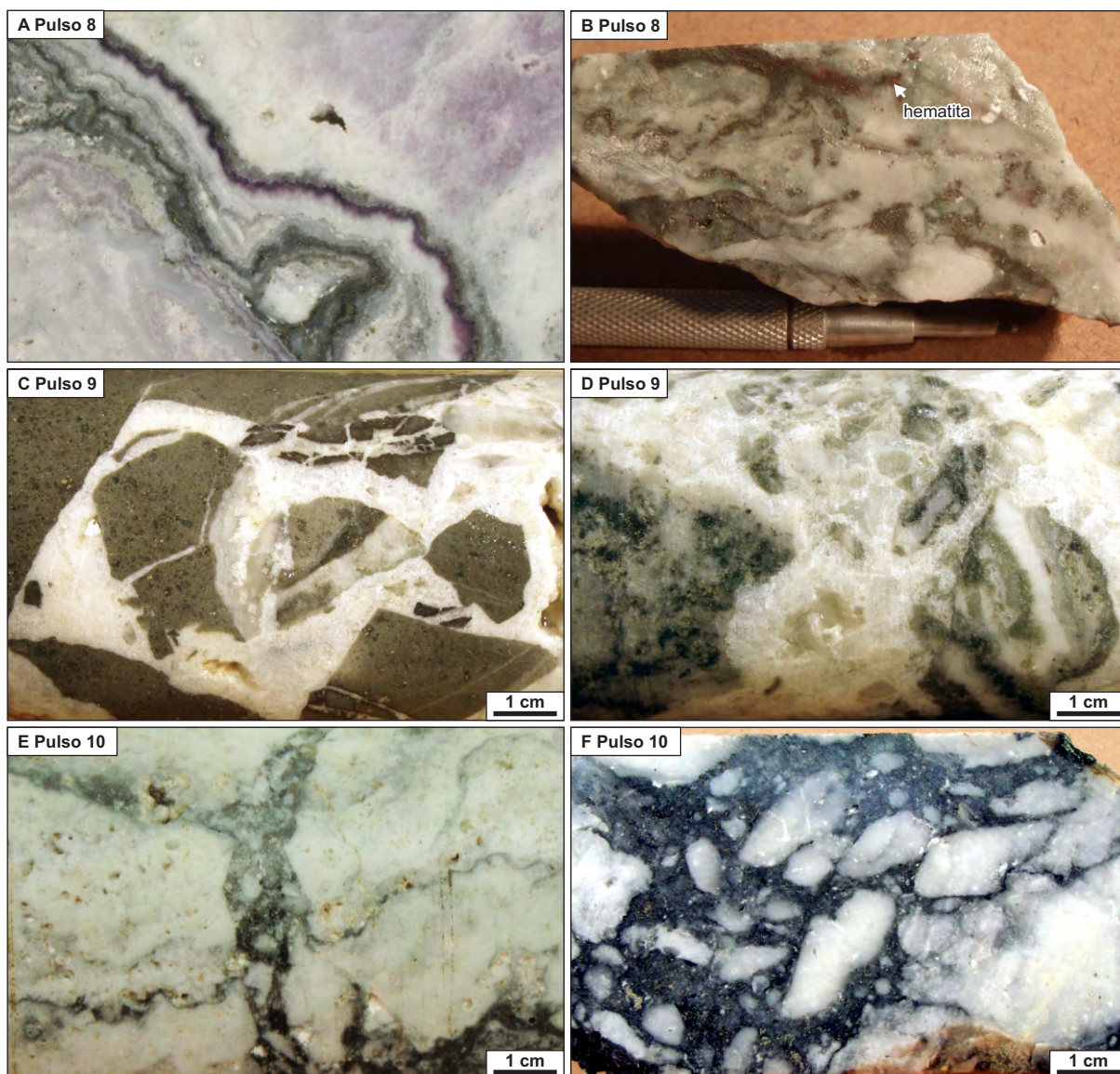
**Figura 4.5:** Fotografías de testigos de perforación de los pulsos correspondientes al episodio mineralizante 1. **A-B)** Pulso 1, bandeo crustiforme-coloforme cortado por vetilla del pulso 7. Abajo se observa el inicio con bandas gruesas ricas en cuarzo y adularia con texturas de reemplazo seguidas de finas bandas de cuarzo-calcedonia, adularia, esmectitas y sulfuros. **C)** Pulso 2, bandeo coloforme-crustiforme cuarzo, adularia rodeando a pulso 1. **D)** Pulso 2, detalle del bandeo con bandas de cuarzo-calcedonia, bandas de adularia acicular y sulfuros alojados en finas bandas de manera discontinua. **E)** Pulso 2, detalle de bandas de cuarzo-calcedonia con minerales aciculares radiados en bandas de cuarzo. **F)** Pulso 3, brechas oquerosa con clastos tabulares (flechas) relleno de la cavidad entre el bandeo del pulso 2. **G)** Pulso 4, finas vetillas de cuarzo, adularia y albita cortando a los pulsos 1 y 2 y cortada por el pulso 8 de calcita masiva.





**Figura 4.6:** Fotografías de testigos de perforación de los pulsos correspondientes al episodio mineralizante 2. **A)** Pulso 5, rellenos masivos de cuarzo (amatista) con texturas de reemplazo de carbonatos y sulfuros ocupando intersticios. **B)** Detalle de texturas de reemplazo de cuarzo por calcita en el pulso 5. **C)** Pulso 6, brecha de cuarzo con afectando a clastos de pulso 2 en un arreglo en rompecabezas *jigsaw-fit*. **D)** Pulso 6, brecha de cuarzo con clastos rotados del pulso 2 y de roca de caja. **E)** Pulso 7, finas vetillas de cuarzo grueso cortando al pulso 6. **F)** Pulso 7, vetillas de cuarzo bandeado hasta amatista con un borde fino de adularia afectando a la roca de caja.





**Figura 4.7:** Fotografías de testigos de perforación de los pulsos correspondientes a los episodios mineralizante 3 y 4. **A)** Pulso 8, rellenos bandeados de calcedonia, amatista, y finas bandas de sulfuros (pirita). **B)** Pulso 8, brecha con rellenos de calcedonia gris-verdosa con hematita y pirita, rodeando fragmentos “fluidizados” subredondeados de veta. **C)** Pulso 9, vetillas de calcita cortando a la roca de caja (andesitas) y a finas vetillas de cuarzo (pulso 7). **D)** Pulso 9, brechas de calcita con clastos bandeados del pulso 1. **E-F)** Pulso 10, vetillas y cuerpos de brechas matriz soportada con clastos de vetas subredondeados y rotados en una matriz oscura con sulfuros.

clastos redondeados de pulsos previos presentando erráticos contenidos de plata asociados a sectores oscuros ricos en sulfosales de plata en la matriz de las brechas.

A continuación se describen de manera detallada las características texturales, mineralógicas y de composición química mineral para cada pulso mineralizante que integra el diagrama paragenético del sistema Marianas-San Marcos.

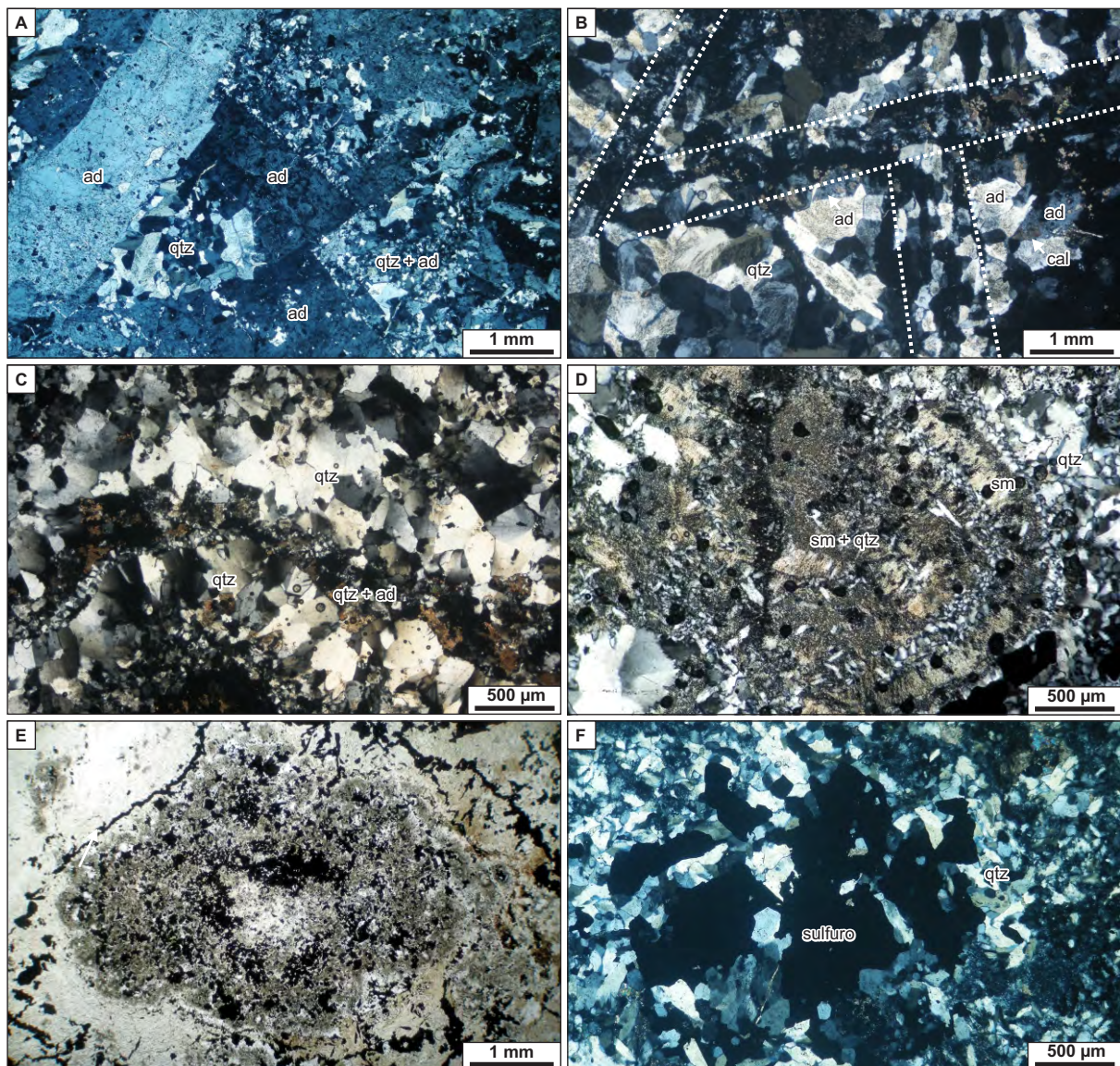
### **Episodio 1**

**Pulso 1:** El pulso 1 se inicia con bandas masivas de adularia tabular a subrómica intercrecidas con cuarzo grueso en contacto con las paredes de la roca de caja. Posteriormente, se desarrolla un bandeo crustiforme-coloforme con estructuras en cucarda que se inicia con bandas gruesas de cuarzo y adularia con texturas de reemplazo paralelo (*parallel bladed*) (Figs. 4.3, 4.4, 4.5 A, B, 4.8 A, B). Estas bandas son seguidas por la alternancia de finas bandas grises a blancas compuestas por cuarzo recrystalizado de diferente granulometría, bandas ricas en adularia rómica, y bandas verdes ricas en arcillas (Fig. 4.8 C-F). Las bandas de cuarzo presentan textura maciza y variadas texturas de recrystalización según calcedonia como mosaico, musgosa, esferas fantasmas, con inclusiones sólidas en forma de pluma y llameante. Comúnmente dentro de las bandas, se desarrollan texturas de reemplazo de minerales aciculares (ceolitas y/o adularia) por cuarzo. Las bandas ricas en arcillas se caracterizan por la presencia de agregados escamosos, vermiculares y botroidales de composición principal esmectítica (Figs. 4.8D, 4.9 A-D). Además, arcillas de la misma composición precipitan tardíamente como parches reemplazando a la adularia y a los minerales radiados, y/o brechando al bandeo junto a cuarzo, illita, caolinita, calcita (Figs. 4.9 E, F) y cantidades menores de cerusita ( $PbCO_3$ ) y ankerita ( $Ca(Fe, Mg)(CO_3)_2$ ).

Los minerales de mena se encuentran asociados a bandas ricas en arcillas frecuentemente de manera intercrecida formando agregados subcirculares de 10 a 500  $\mu m$  de cuarzo con texturas de recrystalización en mosaico y esferas fantasmas (Fig. 4.8E). Además, se presentan diseminados en bandas de cuarzo gris con textura maciza (Fig. 4.8F). Cuando se encuentran intercrecidos, es posible identificar 3 asociaciones de minerales principales:

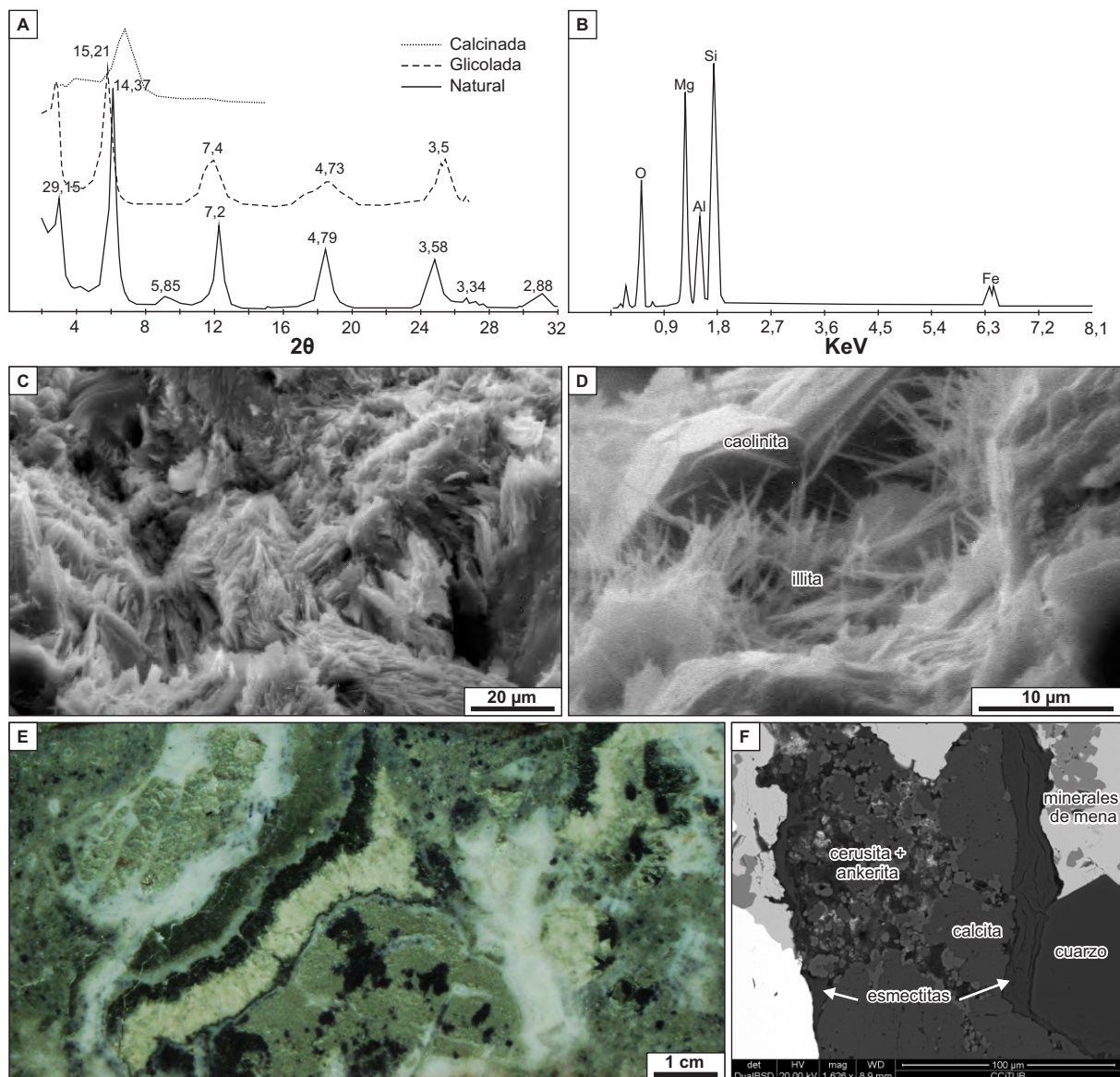
Asociación pirita ( $\pm$  electrum) + calcopirita + esfalerita  $\pm$  galena  $\pm$  bornita: Esta asociación de sulfuros es la primera en depositarse, está caracterizada por escasos granos de pirita ( $FeS_2$ ) con bajos contenidos de As (alcanzando 2% en peso en San Marcos; Tabla 4.1), intercrecidos mayormente con masas irregulares de calcopirita ( $CuFeS$ ) y esfalerita ( $ZnS$ ) (Fig. 4.10 A, B) pobre en Fe y Cd ( $< 2\%$  en peso; Tabla 4.1), y cantidades menores de bornita ( $Cu_5FeS_4$ ).





**Figura 4.8:** Texturas, y mineralogía del pulso 1. **A)** Cristales de adularia tabular y subrómica intercrecidos con cuarzo de grano fino recrystalizado, MLT (//). **B)** Texturas de reemplazo de platycalcita por cuarzo y adularia con parches de calcita, MLT (//). **C-D)** Bandeado crustiforme-coloforme de cuarzo, adularia (con parches de calcita) y esmectitas, MLT (//). **E)** agregados de cuarzo recrystalizado y sulfuros en bandas ricas en arcillas, MLT (//). **F)** Sulfuros entre cristales de cuarzo, MLT (//). **Referencias:** ad: adularia; cal: calcita; MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos; qtz: cuarzo; sm: esmectitas.



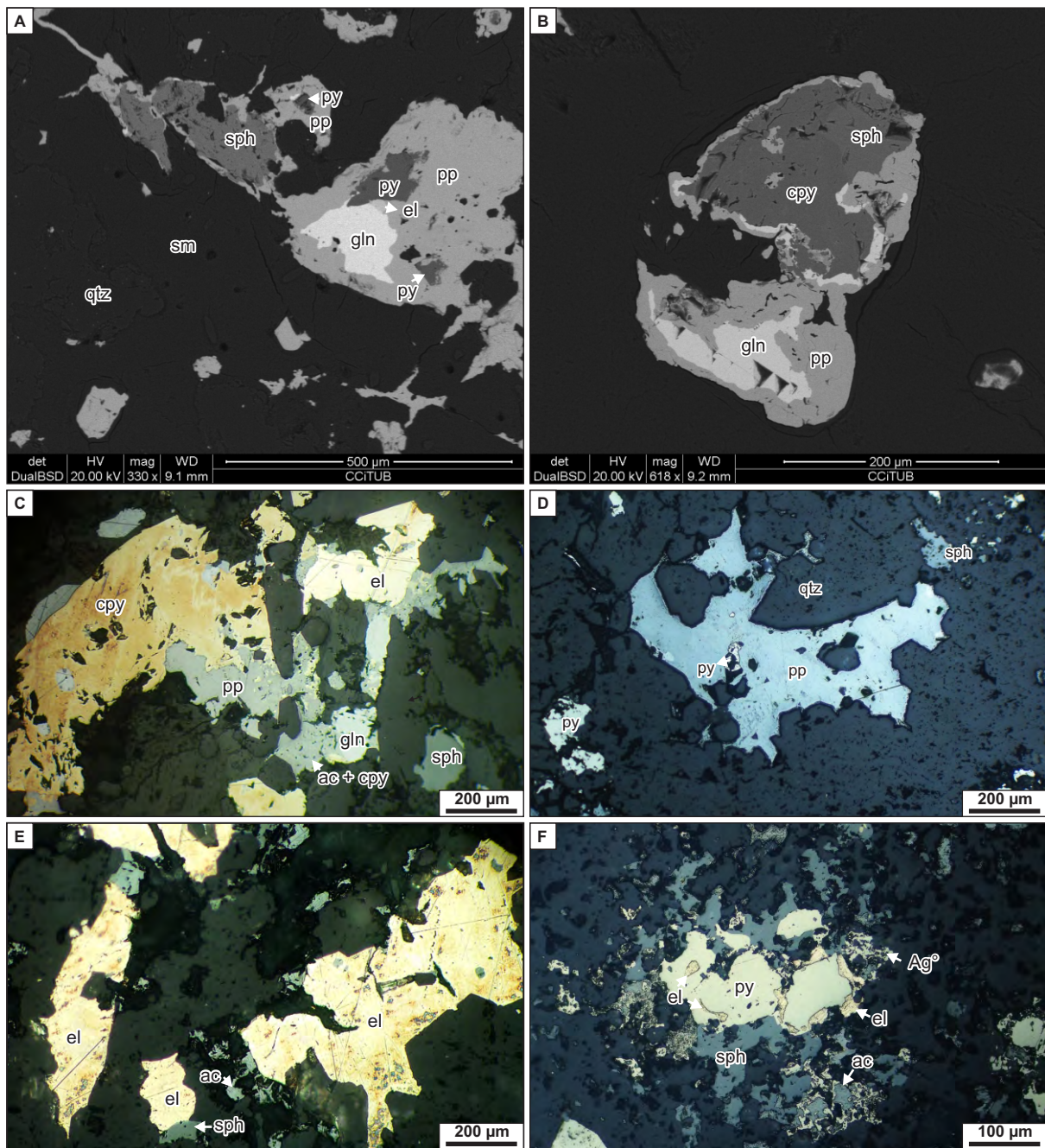


**Figura 4.9:** **A)** Espectros de Rayos X de las arcillas del pulso 1 donde identifican picos de las esmectitas con trazas de illita y caolinita. El eje de ordenadas corresponde a la intensidad. **B)** Espectro de rayos X obtenido por SEM-EDS de las arcillas (esmectitas) del pulso 1 en el que se aprecia el espectro característico de sus componentes (Si, O, Al, Mg, Fe). El primer pico corresponde al pico del C presente en el espectro proviene del recubrimiento de carbono de la muestra, que se le da para conferirle conductividad eléctrica. El eje de ordenadas corresponde a la intensidad **C)** Arcillas del pulso 1 correspondientes a esmectitas, MME. **D)** Zona rica en caolinita e illita, MME. **E)** Fotografías de testigos de perforación del pulso 1, modificado por reemplazos y brechas de arcillas tardías acompañadas de cuarzo, y carbonatos. **F)** Esmectitas tardías acompañadas de cerusita y ankerita, MME. **Referencias:** MME: microfotografía con microscopio electrónico.

Además, la esfalerita se dispone en agregados finos dispersos entre cristales de cuarzo. Por su parte, la galena ( $PbS$ ) se ubica principalmente rodeando a la calcopirita, o como finas vetillas (Fig. 4.10B) con tenores de Ag de hasta 7,2 % en peso en la veta San Marcos (Tabla 4.1). El electrum se encuentra como inclusión mecánica dentro de la pirita con valores de Au promedio de 60% en peso (Tabla 4.1; Figs. 4.10F, 4.11A).

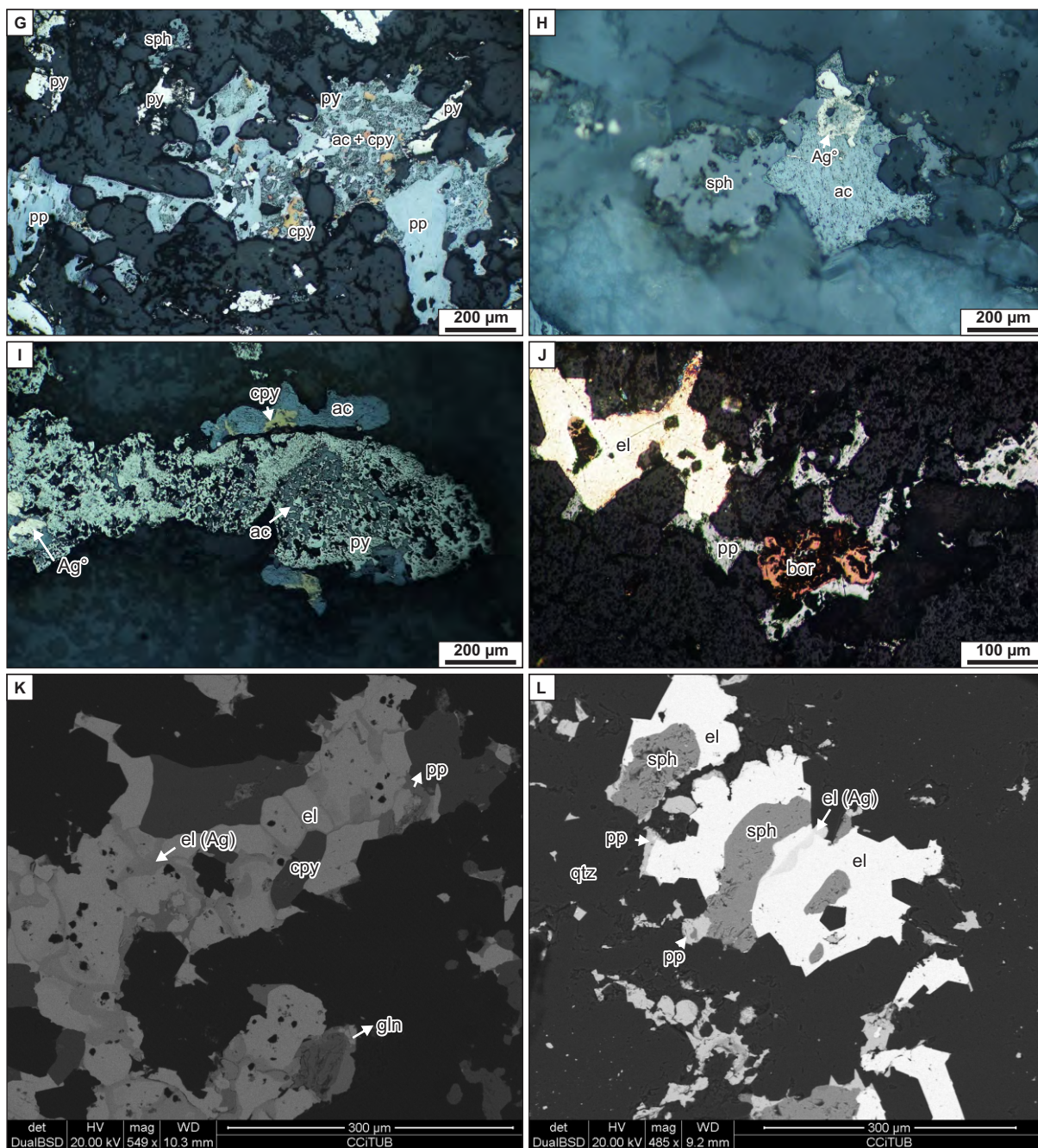
Asociación polibasita-pearceíta ( $\pm$  tetraedrita) + acantita + electrum: Esta asociación precipita posteriormente a la asociación pirita + calcopirita + esfalerita  $\pm$  galena. La polibasita-pearceíta  $((Ag,Cu)_6(Sb,As)_2)S_7(Ag_9CuS_4)$  es el principal mineral portador de plata en el sistema (Fig. 4.11B). Este mineral se encuentra rodeando los sulfuros de metales base como también ocupando intersticios entre cristales de cuarzo y/o rellenando vetillas (Fig. 4.10 A-D). La relación  $Sb/(As+Sb)$  varía entre 0 a 1 de manera continua (Fig. 4.11C), mostrando el rango completo dentro de la solución sólida, con contenidos más ricos en As (extremo pearceíta) mayormente en Mariana Central y contenidos más ricos en Sb para San Marcos. Una característica particular es la presencia de fases con contenidos de hasta 4,66 % en peso de selenio, tanto del extremo rico en Sb como en As (Tabla 4.1; Fig. 4.11C). La fórmula estequiométrica promedio obtenida para las polibasitas-pearceítas seleníferas corresponde a  $(Ag_{15,5-15,8}, Cu_{0,9-1,2})(Sb_{0,4-1,5}, As_{0,4-1,6})(S_{9,5-9,7}, Se_{0,7})$ . Asociado a la polibasita-pearceíta, aparecen localmente cantidades menores de tetraedritas  $((Ag,Cu, Fe,Zn)_{12}(Sb,As)_4S_{13})$  con contenidos de plata de hasta 23,6% en peso y una relación  $Ag/(Ag+Cu)$  que muestra un rango variable de sustitución entre Ag y Cu (Tabla 4.1; Fig. 4.11B). La fórmula estequiométrica obtenida para polibasita-pearceíta corresponde a  $((Cu_{5,91-7,09}, Ag_{3,04-4,30})(Zn_{0,14-1,30}, Fe_{0,58-1,14})(Sb_{3,31-4,00}, As_{0,14-1,06})S_{12,44-13,27})$ . De manera tardía, asociado a las sulfosales de plata, este pulso presenta cantidades abundantes de acantita ( $Ag_2S$ ) y electrum ( $Au, Ag$ ) de grano grueso (50  $\mu m$  a 0.8 mm) entre los cristales de cuarzo y/o rodeando los sulfuros (Fig. 4.10 C, E, F). El contenido de Au en el electrum se grafica en la figura 4.11A, con un contenido promedio de 61,34% en peso.

Asociación acantita + plata nativa: Esta asociación mineral reemplaza y/o corta parcialmente a las anteriores, interpretada como producto de procesos supergénicos. La acantita se presenta en forma de vetillas, ocupando intersticios y frecuentemente reemplazando a los sulfuros y sulfosales de plata, con texturas en parches acompañado de plata nativa y calcopirita (Fig. 4.10 G-J). La acantita también arroja algunos valores de selenio de hasta 5,57 % en peso (Tabla 4.1). Por último, plata nativa con contenidos de Au promedio de 24,5 % (Fig. 4.11C)



**Figura 4.10:** Principales asociaciones de minerales de mena del pulso 1. **A)** Granos de pirita, esfalerita y galena rodeados de polibasita-pearceita en ganga de cuarzo y esmectitas, MME. **B)** Agregados concéntricos con pirita y esfalerita en el núcleo rodeados de galena y polibasita-pearceita hacia el borde, MME. **C)** Polibasita-pearceita con electrum tardío rodeando granos de calcopirita y galena. Los cristales de la sulfosal de plata se encuentran corroídos parcialmente por argentita y calcopirita secundaria, MLR. **D)** Cristales de polibasita-pearceita y esfalerita ocupando huecos entre cristales de cuarzo, con remanentes de pirita esfalerita, MLR. **E)** Granos de electrum entre cristales de cuarzo con esfalerita y acantita, MLR. **F)** Esfalerita (con inclusiones de calcopirita), pirita con electrum como inclusiones mecánicas y rodeando, y acantita (con palta nativa) reemplazando parcialmente a la pirita y esfalerita, MLR. **Referencias:** ac: acantita; Ag<sup>o</sup>: plata nativa; cpy: calcopirita; el: electrum; gln: galena; pp: polibasita-pearceita; py: pirita; qtz: cuarzo; sm: esmectitas; sph: esfalerita. MLR: microfotografía con luz reflejada; MME: microfotografía con microscopio electrónico;





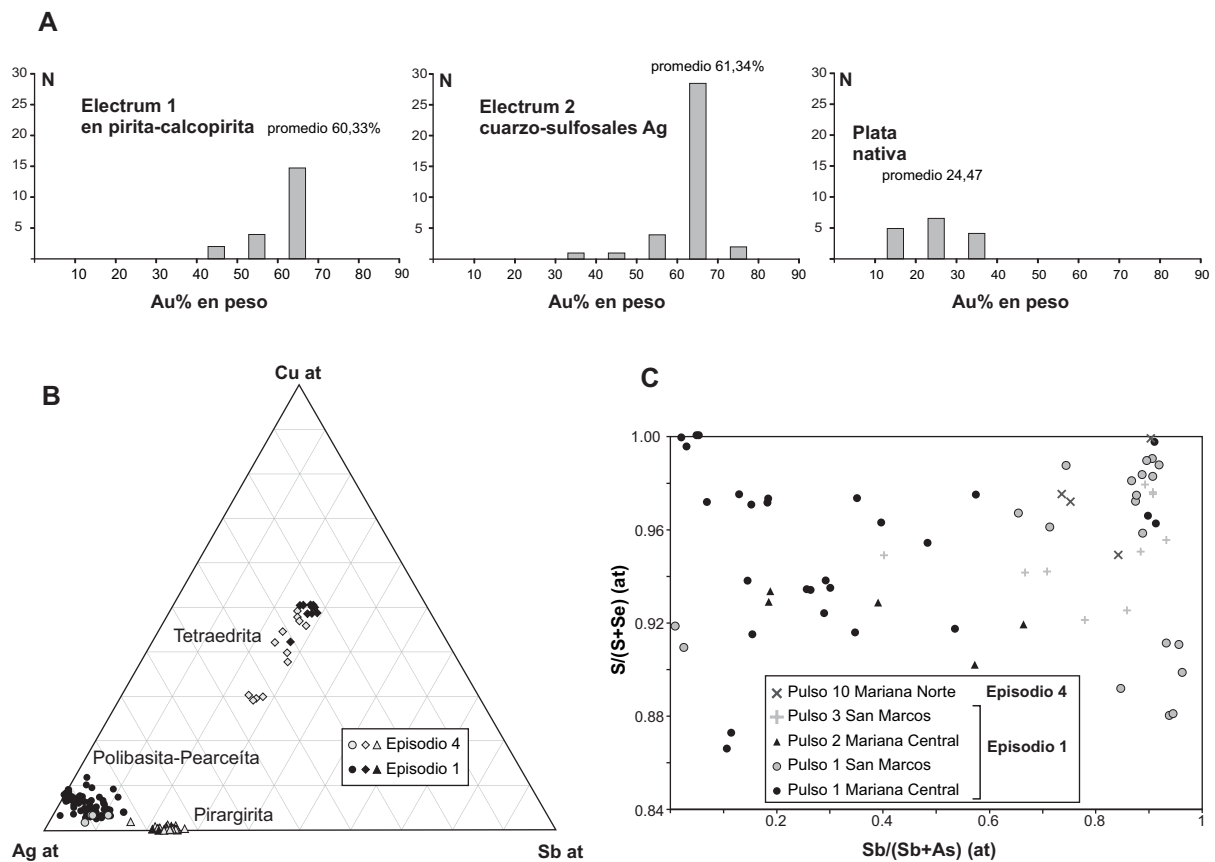
**Figura 4.10 (cont.):** **G)** Granos de pirita, esfalerita y de polibasita-pearceíta reemplazada parcialmente por acantita y calcopirita, MLR. **H)** Cristal de esfalerita parcialmente reemplazado por acantita con plata nativa, MLR. **I)** Textura de reemplazo en carie de acantita con plata nativa reemplazando a pirita, MLR. **J)** Electrum con polibasita-pearceíta junto a bornita, MLR. **K-L)** Granos de electrum cortados por electrum rico en plata, MME. **Referencias:** ac: acantita; Ag°: plata nativa; bor: bornita; cpy: calcopirita; el: electrum (Ag) rico en plata; gln: galena; pp: polibasita-pearceíta; py: pirita; qtz: cuarzo; sph: esfalerita. MLR: microfotografía con luz reflejada; MME: microfotografía con microscopio electrónico.

**Tabla 4.1:** Composiciones mínima, máxima y promedio de los minerales de mena del sistema Marianas-San Marcos analizadas por microsonda electrónica

	Polibasita - Pearceíta (n=66)			Tetrahedrita (n=22)			Pirargirita (n=31)			Acanrita (n=8)			Galena (n=3)		
	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio
<b>S W%</b>	8,22	15,49	13,06	18,86	22,93	21,50	13,36	17,27	15,83	9,59	15,46	12,51	12,73	13,16	12,90
<b>Fe W%</b>	0,00	0,70	0,09	1,72	5,38	3,36	0,01	0,62	0,13	0,01	0,21	0,08	0,00	0,06	0,02
<b>Cu W%</b>	1,07	5,40	2,63	13,38	24,30	20,70	0,00	0,92	0,20	0,01	0,47	0,21	0,27	0,61	0,47
<b>Zn W%</b>	0,00	2,41	0,19	0,47	4,78	3,00	0,00	0,48	0,08	0,01	0,09	0,05	0,00	0,41	0,20
<b>As W%</b>	0,14	7,38	2,79	0,46	4,31	1,28	0,21	2,08	0,73	0,12	0,31	0,23	0,09	0,26	0,17
<b>Se W%</b>	0,00	4,66	1,73	0,00	0,12	0,02	0,01	1,48	0,31	0,06	5,57	1,98	0,07	0,56	0,26
<b>Ag W%</b>	63,17	77,85	71,77	17,54	35,19	23,63	56,22	66,46	59,43	81,45	84,26	82,67	0,00	7,20	3,25
<b>Sb W%</b>	0,09	12,69	5,49	21,60	26,40	24,22	14,47	23,91	21,10	0,00	0,30	0,04	0,09	0,99	0,40
<b>Pb W%</b>	0,00	0,31	0,04	0,00	0,23	0,07	0,00	0,19	0,08	0,00	0,11	0,04	72,76	83,72	79,26
<b>Bi W%</b>	0,00	0,75	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,99	0,09	0,00	0,55	0,16	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	92,85	100,86	97,82	95,65	99,80	97,78	94,52	100,91	98,00	93,84	100,22	97,94	95,19	97,89	96,93
<b>S at</b>	23,68	38,24	33,26	41,32	45,78	43,57	35,92	41,64	39,82	26,35	37,99	32,60	47,00	48,93	48,20
<b>Fe at</b>	0,00	0,98	0,13	1,99	6,21	3,92	0,01	0,88	0,19	0,02	0,33	0,13	0,00	0,12	0,04
<b>Cu at</b>	1,44	6,77	3,36	14,44	24,44	21,10	0,00	1,19	0,25	0,01	0,59	0,27	0,51	1,14	0,88
<b>Zn at</b>	0,00	2,94	0,23	0,47	4,70	2,98	0,00	0,58	0,10	0,01	0,11	0,06	0,00	0,76	0,36
<b>As at</b>	0,16	7,88	3,00	0,40	3,64	1,11	0,22	2,21	0,79	0,13	0,35	0,26	0,15	0,43	0,27
<b>Se at</b>	0,00	4,73	1,79	0,00	0,09	0,01	0,01	1,55	0,32	0,06	6,21	2,17	0,11	0,84	0,40
<b>Ag at</b>	46,35	66,69	54,48	10,50	22,92	14,35	42,58	50,32	44,48	61,01	67,99	64,42	0,00	7,90	3,57
<b>Sb at</b>	0,06	8,44	3,72	11,42	14,08	12,94	9,71	17,11	13,99	0,00	0,21	0,03	0,09	0,96	0,39
<b>Pb at</b>	0,00	0,13	0,02	0,00	0,07	0,02	0,00	0,08	0,03	0,00	0,04	0,02	41,56	49,29	45,88
<b>Bi at</b>	0,00	0,31	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,38	0,04	0,00	0,21	0,06	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	99,98	100,02	100,00	99,99	100,01	100,00	99,98	100,01	100,00	99,98	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00
Esfalerita (n=20)			Pirita (n=4)			Electrum + Plata nativa (n=77)			Hessita (n=15)						
	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio	min	max	promedio
<b>S W%</b>	29,97	32,90	32,04	<b>S W%</b>	49,8	51,8	50,9	<b>Au W%</b>	15,70	72,57	51,97	<b>Au W%</b>	0,00	0,07	0,33
<b>Fe W%</b>	0,30	1,90	0,70	<b>Fe W%</b>	45,5	46,4	45,9	<b>Ag W%</b>	27,02	84,72	48,31	<b>Ag W%</b>	59,53	61,00	61,81
<b>Cu W%</b>	0,00	1,11	0,22	<b>Co W%</b>	0,0	0,1	0,0	<b>Cu W%</b>	0,00	0,41	0,07	<b>Te W%</b>	35,45	36,21	37,16
<b>Zn W%</b>	59,98	65,75	64,50	<b>Ni W%</b>	0,0	0,0	0,0	<b>Sum W%</b>	97,52	102,36	100,39	<b>Cu W%</b>	0,00	0,23	0,77
<b>Cd W%</b>	0,28	0,75	0,49	<b>As W%</b>	0,0	2,2	0,7	<b>Au A%</b>	9,20	59,35	38,48	<b>Sum W%</b>	96,15	97,51	98,76
<b>In W%</b>	0,00	0,06	0,02	<b>Sb W%</b>	0,0	0,1	0,0	<b>Ag A%</b>	40,35	90,64	61,31	<b>Au A%</b>	0,00	0,04	0,20
<b>Sum W%</b>	93,53	99,15	97,91	<b>Sum W%</b>	97,4	97,8	97,6	<b>Cu A%</b>	0,00	0,79	0,16	<b>Ag A%</b>	65,06	66,27	66,75
<b>S A%</b>	49,02	50,64	49,81	<b>S A%</b>	64,8	66,5	65,6	<b>Sum at</b>	99,77	100,01	99,96	<b>Te A%</b>	32,53	33,26	34,33
<b>Fe A%</b>	0,28	1,67	0,62	<b>Fe A%</b>	33,5	34,2	33,9					<b>Cu A%</b>	0,00	0,43	1,41
<b>Cu A%</b>	0,00	0,86	0,17	<b>Co A%</b>	0,0	0,1	0,0					<b>Sum at</b>	99,80	99,96	100,00
<b>Zn A%</b>	45,89	50,31	49,20	<b>Ni A%</b>	0,0	0,0	0,0								
<b>Cd A%</b>	0,12	0,33	0,22	<b>As A%</b>	0,0	1,2	0,4								
<b>In A%</b>	0,00	0,03	0,01	<b>Sb A%</b>	0,0	0,0	0,0								
<b>Sum at</b>	99,92	100,01	99,99	<b>Sum at</b>	100,0	100,0	100,0								

Nota: Los resultados de los análisis se encuentran en el Anexo B.





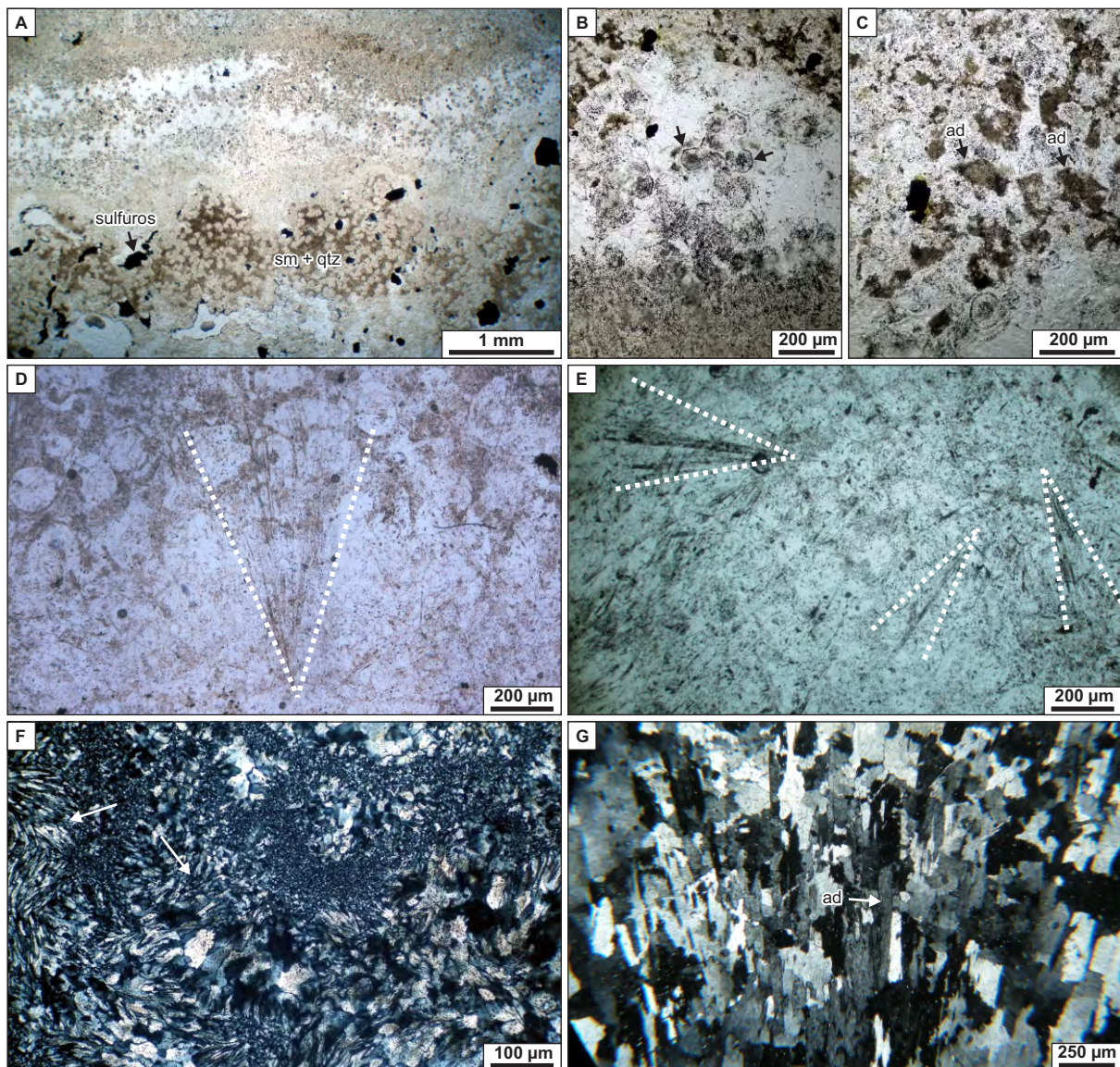
**Figura 4.11:** Química mineral de los principales minerales de mena del sistema Marianas-San Marcos. **A)** Histogramas con las variaciones composicionales del electrum para los principales pulsos portadores dentro del episodio 1. **B)** Variaciones composicionales de las fases argentíferas presentes en los episodios 1 y 4 dentro del sistema Cu-Ag-Sb. **C)** Diagrama de proporciones atómicas de Sb/(Sb+As) versus S/(S+Se) para los minerales de la serie polibasita-pearceíta.

aparecen hacia los bordes y/o como finas vetillas cortando a los granos de electrum (Fig. 4.10 K-L).

**Pulso 2:** El pulso 2 tiene un amplio desarrollo en todo el sistema y está conformado por bandeados coloforme-crustiforme, por sectores simétricos, que crecen a partir del pulso 1 y/o lo incorpora como clastos dentro del bandeo (Figs. 4.3, 4.4, 4.5 C, D). Las finas bandas se componen de calcedonia blanca lechosa a translúcida con texturas de recristalización (mosaico, musgosa, llameante y plumosa, con abundantes inclusiones en nubes, subesféricas, y según simetría hexagonal (Fig. 4.12 A-C) y escasas texturas de reemplazo (*lattice bladed*) (Fig. 4.12D). De manera intercalada entre las bandas de cuarzo se reconocen bandas ricas en arcillas de variada composición (caolinita, esmectitas e illita  $\pm$  clorita) (Fig. 4.12A), y bandas ricas en cristales de adularia rómbica parcial y/o totalmente argilizada (Fig. 4.12C).

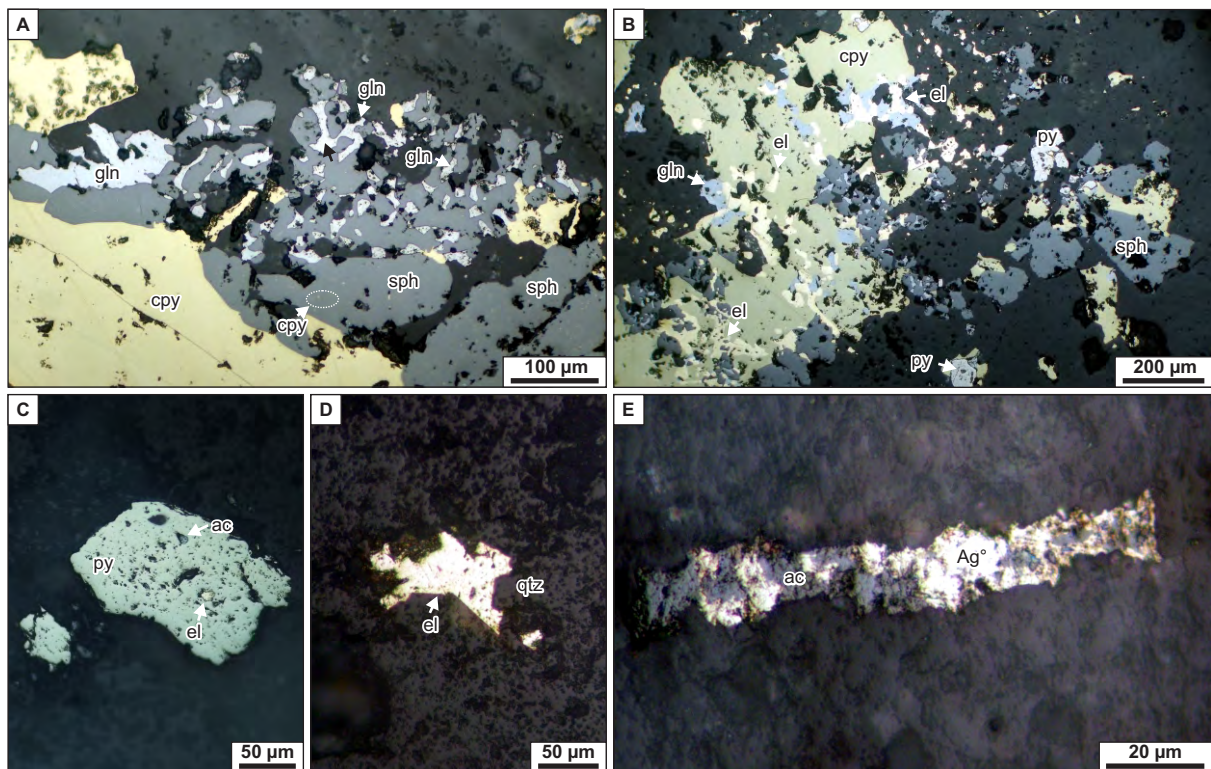
Frecuentemente, sobre la base del cuarzo recristalizado se reconocen abundantes texturas de reemplazo de un mineral acicular con disposición radiada que forma ramilletes de 45° que crecen perpendicularmente a las paredes de las bandas o cortándose entre sí (Fig. 4.12E). La morfología de los cristales está dada por conjuntos de impurezas e inclusiones alargadas sobre una base de cuarzo en mosaico. Estos reemplazos se asemejan en cuanto a su hábito con minerales del grupo de las ceolitas descritos por Simpson & Mauk (2011), como es la mordenita ( $(Ca, Na_2, K_2)Al_2Si_{10}O_{24} \cdot 7H_2O$ ) de depósitos epitermales de la zona de Hauraki Goldfield en Nueva Zelanda. Además, pero en menor medida, se identifican otros tipos de reemplazos de minerales de hábito tabular corto formando agregados radiales a subesféricos, reemplazados totalmente por cuarzo de hábito escamoso y/o parcialmente con remanentes de calcita (Fig. 4.12F), también interpretados como reemplazos de minerales del grupo de las ceolitas o calcita. Asociados a zonas de alta ley de Au, se observan agregados radiales de adularia pseudoacicular (parcial y/o totalmente argilizadas) intercrecidos con cuarzo (Fig. 4.12G).

Los minerales de mena se encuentran de manera diseminada, con tamaños que varían entre 25 a 500  $\mu m$ , y/o en finas bandas coloformes discontinuas intercrecidos con cuarzo, adularia y arcillas. Los mismos corresponden a las 3 asociaciones minerales descriptas para el pulso 1 pero en cantidades menores y con ligeras diferencias. Dentro de asociación mineral pirita + calcopirita + esfalerita  $\pm$  galena, la esfalerita se distingue por la presencia de abundantes inclusiones de tipo *disease* de calcopirita ( $<10 \mu m$ , Fig. 4.13A) y escasa galena asociada a hessita ( $AgTe$ ) detectado por microsonda electrónica (Tabla 4.1). Dentro de asociación polibasita-pearceíta + acantita + electrum + pirita, las sulfosales aparecen



**Figura 4.12:** Texturas y mineralogía del pulso 2. **A)** Bandeado coloforme-crustiforme de cuarzo recrystalizado, adularia y bandas ricas en arcillas, MLT (//). **B)** Detalle de texturas de recrystalización de cuarzo con inclusiones según simetría hexagonal, MLT (//). **C)** Detalle de cristales de adularia rómbica argilizadas, MLT (//). **D)** Detalle de mineral acicular radiado interpretado como mordenita, intercrecido en bandas de cuarzo recrystalizado, MLT (//). **E)** Detalle de ramilletes de agregados aciculares (mordenita) que se cortan entre sí sobre una base de cuarzo recrystalizado, MLT (//). **F)** Bandas ricas en cuarzo escamoso producto del reemplazo de celolita o calcita, MLT (+). **G)** Agregados pseudoaciculares radiales de adularia intercrecidos con cuarzo elongados. Cada fibra se compone de cristales elongados de cuarzo y adularia, MLT (+). **Referencias:** ad: adularia; sm: esmectitas. MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicoles paralelos, (+) nicoles cruzados.





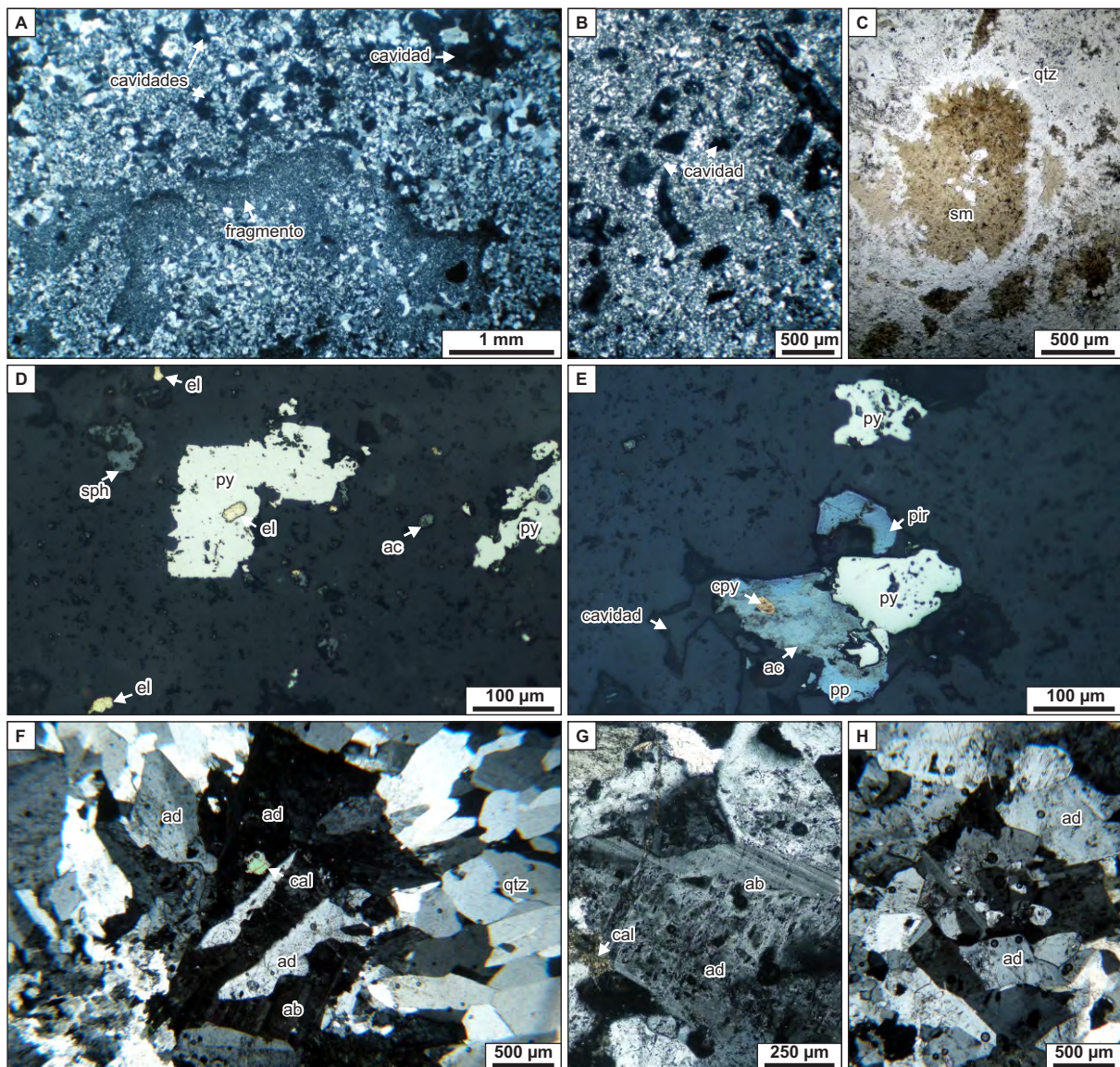
**Figura 4.13:** Principales asociaciones de minerales de mena del pulso 2. **A)** Intercrecimiento de calcopirita y esfalerita con inclusiones de calcopirita tipo *disease* con acantita posterior reemplazando parcialmente a los sulfuros, MLR. **B)** Masas de calcopirita, esfalerita y pirita, con galena tardía y abundante electrum asociado, MLR. **C)** Detalle de pirita con inclusiones de electrum y acantita, MLR. **D)** Grano de electrum entre cristales de cuarzo, MLR. **E)** Detalle de vetilla rellena de acantita y plata nativa, MLR. **Referencias:** ac: acantita;  $\text{Ag}^\circ$ : plata nativa; cpy: calcopirita; el: electrum; gln: galena; py: pirita; qtz: cuarzo. MLR: microfotografía con luz reflejada.

restringidas, no encontrándose tetraedritas. El electrum, por su parte se encuentra asociado masas de calcopirita con tamaños de 200  $\mu\text{m}$ , esfalerita, galena y pirita (Fig. 4.13 A, B) donde los contenidos de Au en el electrum rondan el 70% en peso (Fig. 4.11A). Además, se encuentra incluido dentro de la pirita y/o disperso entre cristales de cuarzo con tamaños de entre 10 a 25  $\mu\text{m}$  (Fig. 4.13 C, D). En cuanto a las asociación acantita + plata nativa, al igual que en el pulso 1, aparece reemplazando parcialmente a las asociaciones previas y/o asociado a microfracturas y cavidades (Fig. 4.13 E) producto de procesos supergénicos (Fig. 4.11A).

**Pulso 3:** El pulso 3 tiene un desarrollo escaso y localizado, caracterizado por brechas matriz soportadas con abundantes cavidades, fragmentos tabulares (relación largo/ancho  $>10:1$ ) de cuarzo finamente bandeado comparables con “fichas de dominó” y clastos subangulosos de roca de caja en una matriz de cuarzo fino de color gris en un arreglo “anastomosado” con finos sulfuros diseminados (Figs. 4.3, 4.4, 4.5F). Al microscopio los fragmentos tabulares tienen bordes sinuosos, afectados por el paso de los fluidos o “fluidizados”, compuestos por un mosaico fino de cuarzo masivo a finamente bandeado (Fig. 4.14A). La matriz de la brecha es de grano fino con rellenos masivos a débilmente bandeados de calcedonia (recristalizada), con finos opacos diseminados. Las cavidades se encuentran parcial y/o totalmente rellenas por cuarzo cristalino, cloritas-esmectitas y/o por caolinita (Fig. 4.14 B, C). Los sulfuros se encuentran tanto en la matriz como en cavidades con tamaños de 200 a 500  $\mu\text{m}$  con predominancia de pirita, algunas débilmente anisótropas (arsenicales), con inclusiones de esfalerita, argentita, y de electrum de unos 20  $\mu\text{m}$  (Fig. 4.14D), y con contenidos de Au de entre 60-70% (Fig. 4.11A), acompañadas de polibasita-pearceíta y pirargirita (Fig. 4.14E). Además, de manera diseminada se observa esfalerita (con inclusiones de calcopirita) y granos de oro/electrum (de hasta 50  $\mu\text{m}$ ) dispersos en la matriz (Fig. 4.14D). Al igual que los pulsos previos, esta asociación se encuentra reemplazada parcialmente por acantita con calcopirita asociada y por plata nativa (Fig. 4.14D).

**Pulso 4:** Este pulso está poco representado y está compuesto de una red de vetillas de 1 cm de espesor, caracterizadas por la presencia de adularia tabular y sub-rómbica, albita y cuarzo (Figs. 4.3, 4.4, 4.5 G). La adularia crece en forma perpendicular a las paredes de la vetilla junto con la albita con cristales de hasta 5 mm de largo (Fig. 4.14F). La albita se observa parcialmente reemplazada por adularia tabular de una nueva generación (Fig. 4.14G). Hacia el centro de las vetillas se observa una mayor proporción de adularia sub-rómbica, intercrecida con cuarzo de grano grueso que lleva texturas de crecimiento primario (sacaroide





**Figura 4.14:** Texturas y mineralogía del pulso 3 & 4. **A)** Pulso 3, textura de la brecha con fragmentos “fluidizados” compuestos por un mosaico fino de cuarzo en una matriz fina con cavidades, MLT (+). **B)** Pulso 3, detalle de la matriz con abundantes cavidades algunas rellenas de arcillas (caolinita), MLT (+). **C)** Pulso 3, detalle de una cavidad tapizada por cristales de cuarzo y rellena de esmectitas, MLT (/). **D)** Pulso 3, pirita con inclusiones de electrum y acantita en cavidades y esfalerita, acantita y electrum diseminados en la matriz, MLR. **E)** Pulso 3, pirita rodeada de sulfosales de plata parcialmente reemplazadas a acantita con calcopirita en una cavidad, MLR. **F)** Pulso 4, adularia tabular creciendo perpendicularmente a la pared de una vetilla intercrecida con albita, MLT (/). **G)** Pulso 4, adularia tabular reemplazando a cristales de albita, MLT (/). **H)** Pulso 4, cristales de adularia subrómica en el centro de una vetilla, MLT (/). **Referencias:** ab: albita; ac: acantita; ad: adularia; cal: calcita; cpy: calcopirita; el: electrum; pir: pirargirita; pp: polibasita-pearceíta; py: pirita; qtz: cuarzo; sm: esmectitas. MLR: microfotografía con luz reflejada; MLT: microfotografía con luz transmitida (/) nicols paralelos, (+) nicols cruzados.

y en peine) y de recristalización (microplumosa; Fig. 4.14H). Además, son frecuentes los agregados de calcita alterando a la adularia, como también rellenando cavidades entre los cristales de cuarzo (Fig. 4.14 F, G).

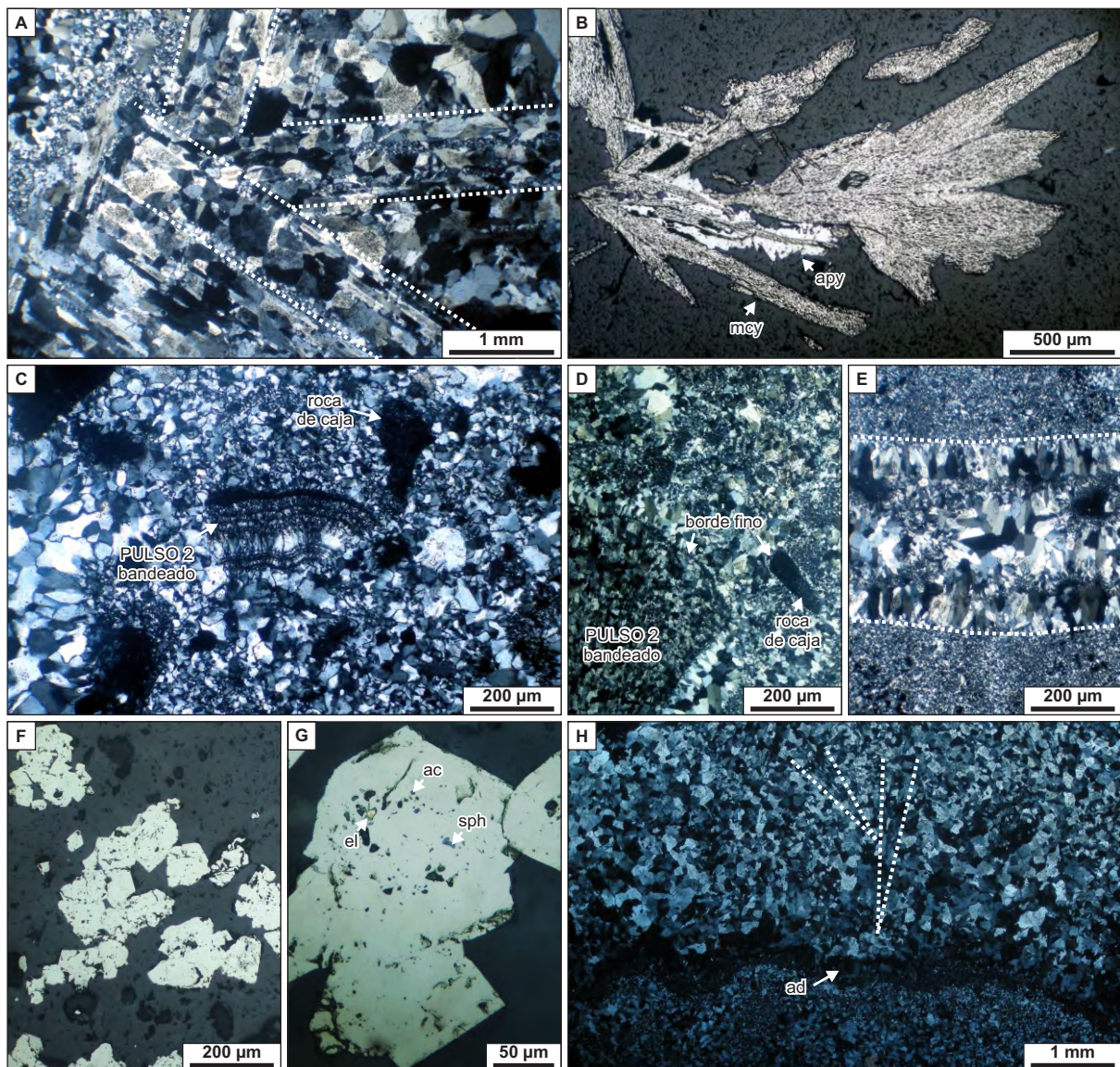
## **Episodio 2**

**Pulso 5:** Este pulso está caracterizado por rellenos masivos a débilmente bandeados de cuarzo blanco con texturas de reemplazo de tipo en enrejado (*lattice bladed*; Figs. 4.3, 4.4, 4.6 A, B) y láminas paralelas (*parallel bladed*, Dong et al., 1995), que dejan cavidades subredondeadas y ortogonales parcial y/o totalmente rellenas de cuarzo amatista, sulfuros gruesos y caolinita (Figs. 4.6A, 4.15A). Los sulfuros se presentan en las cavidades y corresponden a agregados de marcasita con arsenopirita hacia los bordes (Fig. 4.15B).

**Pulso 6:** El pulso 6 está conformado por cuerpos de brecha que varían desde algunos metros hasta finas vetillas milimétricas de tipo mosaico y *crackle*, con abundantes clastos de pulsos previos y de roca de caja en una matriz de cuarzo masivo con cavidades con cuarzo grueso (amatista; Figs. 4.3, 4.4, 4.6 C, D). Los tamaños de los fragmentos son variables, desde escasos milímetros hasta varios centímetros, con bordes subángulosas a subredondeadas, y presentan un reborde fino de cuarzo (Fig. 4.15 C, D). La matriz se compone de cuarzo en mosaico con escasos sulfuros diseminados, y con vetillas y rellenos de cuarzo en peine a fino (Fig. 4.15 C-E). Los sulfuros corresponden principalmente a agregados de pirita euhedrales (de entre 20 y 200  $\mu\text{m}$ ) con calcopirita (Fig. 4.15F). Algunos cristales de pirita presentan inclusiones de acantita, esfalerita y pequeños granos (20  $\mu\text{m}$ ) de electrum (Fig. 4.15G). De manera tardía, el pulso 6 incluye a una red de vetillas sub-milimétricas en un arreglo anastomosado de cuarzo recristalizado con acantita y electrum interpretados como producto de procesos de removilización de pulsos previos.

**Pulso 7:** El pulso 7 tiene un amplio desarrollo en este sistema, con espesores que van desde 2-3 cm hasta 1 metro. La morfología varía desde delgadas a gruesas vetillas que cortan los pulsos previos y forma un enjambre de vetillas (*stockwork*) que afecta a la roca de caja con una amplia distribución (Figs. 4.3, 4.4, 4.6 E, F). Está compuesto por un bandeo de cuarzo blanco con un borde fino de adularia rómbica y de cuarzo recristalizado según calcedonia (Figs. 4.6F, 4.15H). Hacia el centro del bandeo se observan cavidades rellenas de cuarzo amatista con textura en peine y zonal. Se han observado en sectores texturas de reemplazo de tipo enrejado y paralelas, asociadas a este pulso (Fig. 4.15H).





**Figura 4.15:** Texturas y mineralogía del episodio 2. **A)** Pulso 5, Textura de reemplazo de tipo láminas en enrejado (*lattice bladed*), donde se observa el cuarzo de hábito tabular en las láminas de reemplazo y cavidades rellenas de cuarzo grueso, MLT (+). **B)** Pulso 5, Agregados de marcasita, algunos con un borde de arsenopirita, MLR. **C-D)** Pulso 6, textura brechosa con clastos bandeados de variados tamaños con reborde fino de cuarzo, MLT (+). **E)** Pulso 6, vetilla simétrica con bordes de cuarzo en peine tapizados por cuarzo fino en la matriz de la brecha, MLT (+). **F)** Pulso 6, agregados de piratas euhedrales en la matriz de la brecha, MLR. **G)** Pulso 6, detalle de piratas con inclusiones de argentita, esfalerita y electrum, MLR. **H)** Pulso 7, detalle de las vetillas bandeadas con un borde fino de cuarzo y adularia, y luego rellenas de cuarzo con texturas de reemplazo de minerales aciculares, MLT (+). **Referencias:** ac: acantita; ad: adularia; apy: arsenopirita; el: electrum; mcy: marcasita; sph: esfalerita. MLR: microfotografía con luz reflejada; MLT: microfotografía con luz transmitida (+) nicoles cruzados.

### **Episodio 3**

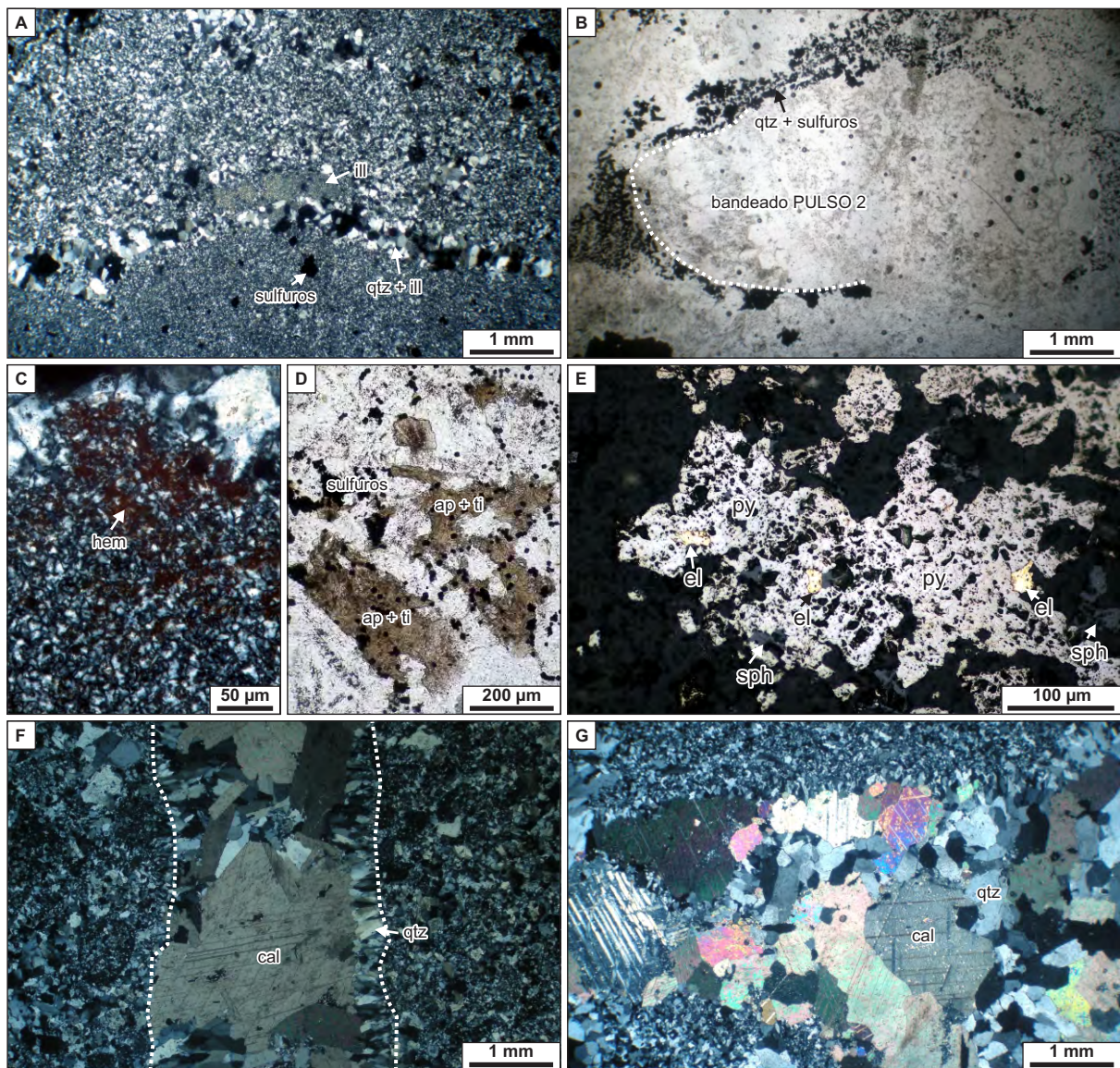
**Pulso 8:** Está conformado por rellenos bandeados, vetillas y brechas con fragmentos subredondeados (algunos de aspecto “fluidizado”) de pulsos previos y de roca de caja, rodeados de una matriz de calcedonia gris-verdosa masiva a finamente bandeadada por sectores de colores rojizos (intercrecida con hematita fina) y con variable cantidad de sulfuros (Figs. 4.3, 4.4, 4.7 A, B). Al microscopio, se reconocen finas bandas de cuarzo con texturas de recristalización (mosaico, plumosa y llameante) intercrecido con variable cantidad de arcillas (illita ± caolinita) y sulfuros asociados a una mezcla de jarosita y óxidos de hierro (Fig. 4.16 A-C). Además, como minerales accesorios se identificaron agregados granulares de apatita ( $Ca_5(PO_4)_3(F, Cl, OH)$ ), y como cristales prismáticos cortos de secciones hexagonales, en algunos casos alterados a caolinita, y por sectores formando agregados con un mineral de relieve alto posiblemente titanita ( $CaTiSiO_5$ ; Fig. 4.16D). Las bandas ricas en sulfuros están compuestas por abundantes agregados de piritas cúbicas y dodecahédricas desde finas a gruesas (25  $\mu m$  a 2 mm), algunas con inclusiones de electrum de 10 a 50  $\mu m$  (Fig. 4.16E). Además, acompañan cantidades menores de calcopirita y escasa esfalerita.

**Pulso 9:** Este pulso tiene un amplio desarrollo tanto dentro de las vetas como afectando a la roca de caja. Está compuesto por finas vetillas, vetas y brechas de calcita gruesa con cantidades menores de cuarzo grueso de la variedad amatista (Figs. 4.3, 4.4, 4.7 C, D). Al microscopio se observan rellenos de calcita en cavidades, conformando finas vetillas junto con cuarzo grueso (Fig. 4.16 F, G)

### **Episodio 4**

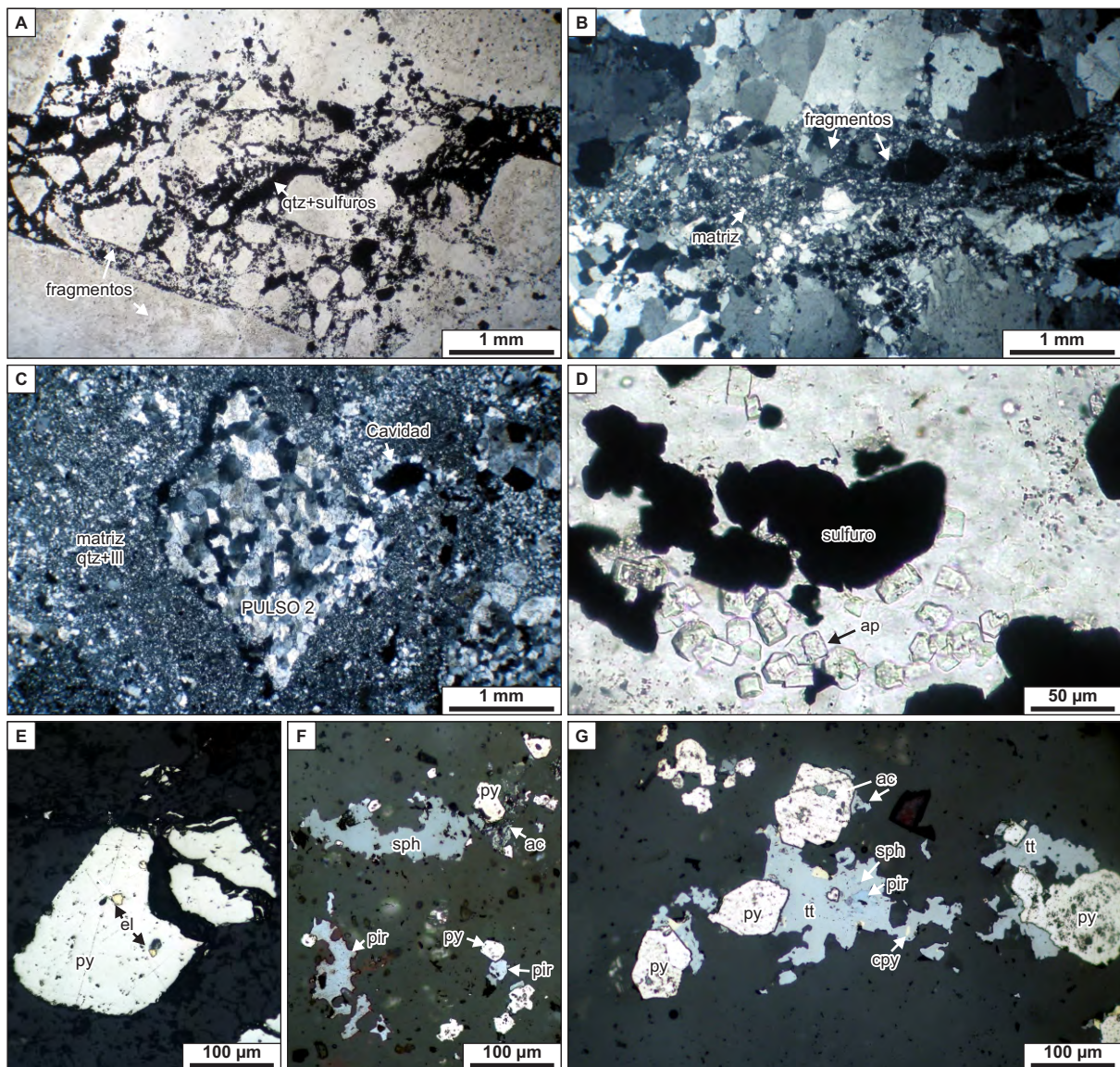
**Pulso 10:** Está representado por finas vetillas y cuerpos masivos de brechas cohesivas de falla (“*cohesive fault breccias*” según Passchier & Trouw, 2005). Las mismas están caracterizadas por fragmentos de pulsos previos en una matriz de grano fino de tonalidades oscuras con sulfuros diseminados (Figs. 4.3, 4.4, 4.7 E, F). Estas brechas matriz soportadas, presentan variable cantidad de matriz y clastos de variada granulometría (desde algunos milímetros a centímetros), de bordes angulosos a subangulosos con poca rotación, hasta clastos subredondeados y con mayor rotación (Fig. 4.17 A, B). Por sectores se han observado bandas de escasos centímetros correspondientes a cataclásitas cohesivas foliadas (“*foliated cohesive cataclasite*” según Passchier & Trouw, 2005). Estas se caracterizan por mayor cantidad de matriz y menor tamaño de clastos (Fig. 4.17B). Al microscopio la matriz para ambos casos se compone de cuarzo con texturas de recristalización en mosaico intercrecido





**Figura 4.16:** Texturas y mineralogía del episodio 3. **A)** Pulso 8, rellenos bandeados de cuarzo en mosaico con illita y sulfuros, MLT (+). **B)** Pulso 8, brecha de cuarzo con sulfuros rodeando fragmento bandeados del pulso 2, MLT (/). **C)** Pulso 8, detalle de mosaico de cuarzo con hematita, MLT (+). **D)** Pulso 8, agregados finos de apatita y titanita asociados a un mosaico de cuarzo, MLT (/). **E)** Pulso 8, pirita gruesa con inclusiones de electrum, asociados a esfalerita, MLR. **F)** Pulso 9, vetilla rellena de cuarzo en peine en el borde y calcita rómbica hacia el centro, MLT (+). **G)** Pulso 9, rellenos de cuarzo grueso y calcita rómbica, MLT (+). **Referencias:** ap: apatita; cal: calcita; el: electrum; hem: hematita; ill: illita; ; py: pirita; qtz: cuarzo; sph: esfalerita; ti: titanita. MLR: microfotografía con luz reflejada; MLT: microfotografía con luz transmitida (+) nicols cruzados.





**Figura 4.17:** Texturas y mineralogía del episodio 4. **A)** Pulso 10, textura brechosa compuesta por abundantes fragmentos poco rotados en una matriz de cuarzo fino y abundantes sulfuros, MLT (//). **B)** Pulso 10, detalle de bandas con textura cataclástica caracterizada por abundantes fragmentos de variada granulometría, MLT (+). **C)** Fragmento bandeado del pulso 2 rodeado de matriz de cuarzo de grano fino con illita, MLT (+). **D)** Pulso 10, detalle de agregados de apatita asociado a sulfuros, MLT (//). **E)** Pulso 10, piratas desmembradas con inclusiones de electrum, MLR. **F-G)** Pulso 10, bandas con pirargirita y tetraedrita acompañados de pirita y esfalerita. **Referencias:** ac: acantita; ap: apatita; cpy: calcopirita; el: electrum; ill: illita; pir: pirargirita; pp: polibasita-pearceíta; py: pirita; qtz: cuarzo; tt: tetraedrita. MLR: microfotografía con luz reflejada; MLT: microfotografía con luz transmitida (//) nicols paralelos, (+) nicols cruzados

con una mezcla de arcillas (illita) y óxidos de hierro (Fig. 4.17C). Como mineral accesorio se observa apatita (de hasta 20  $\mu\text{m}$ ) que acompaña a los sulfuros, este mineral se presenta en grupos de cristales euhedrales de formas tabulares cortas, pseudo-cúbicas y secciones hexagonales (Fig. 4.17D).

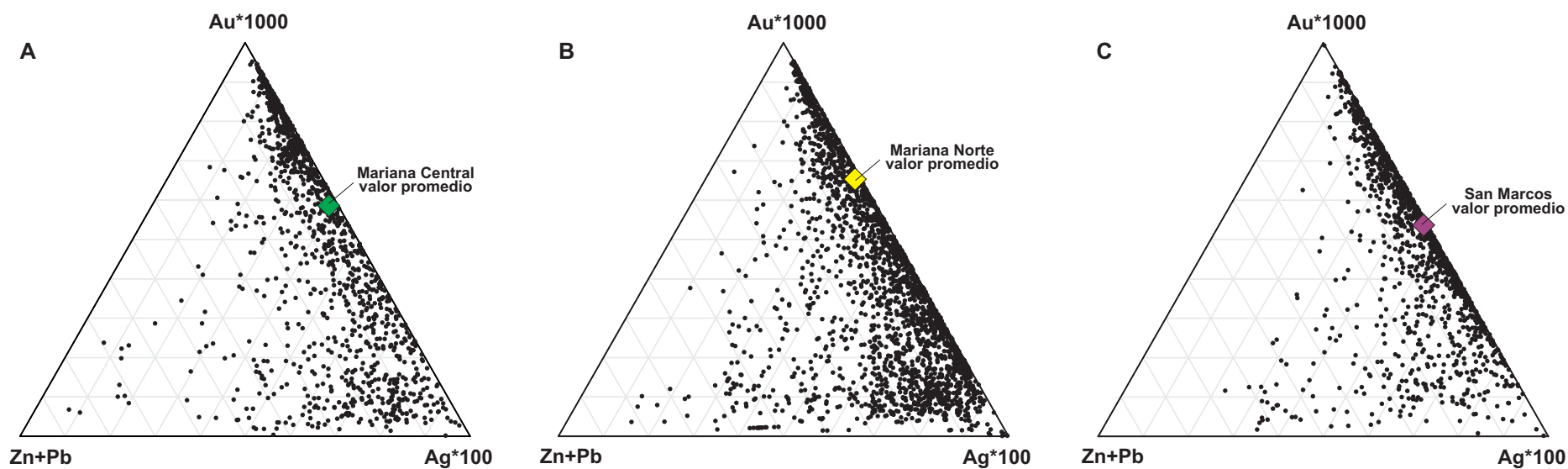
Como minerales de mena este pulso lleva principalmente agregados de pirita cúbicas y dodecahédricas desde finas a gruesas (25  $\mu\text{m}$  a 2 mm), con inclusiones de cuarzo, acantita y esfalerita, algunas fracturadas y parcialmente desmembradas (Fig. 4.17E). Probablemente una parte de los sulfuros presentes en este pulso correspondería a pulsos previos ya que hay evidencias de cataclásis. Estas brechas cuando atraviesan sectores mineralizados, el relleno adquiere tonalidades oscuras dadas por la presencia de pirargirita ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ) y tetraedrita (con bordes de acantita y calcopirita), esfalerita, pirita y calcopirita (Fig. 4.17 F, G). Los análisis de microsonda de pirargirita arrojan valores de hasta 2% de arsénico y de hasta 1,5% de Se mientras que para las tetraedritas el contenido de plata alcanza hasta 27,3 % en peso variando su composición en torno a la solución sólida entre la tetraedrita argentífera y la freibergita ( $(\text{Cu}_{4,19-6,72}, \text{Ag}_{3,52-6,65}) (\text{Zn}_{0,34-1,36}, \text{Fe}_{0,73-1,69}) (\text{Sb}_{3,39-4,08}, \text{As}_{0,12-0,52}) \text{S}_{11,98-12,79}$ ; Fig. 4.11B).

#### 4.4. Geoquímica de vetas y su distribución

Para la caracterización geoquímica fueron utilizados los datos de muestreos pertenecientes a la empresa correspondientes a 478 perforaciones que permitieron la confección de secciones longitudinales ubicadas en la figura 4.2.

Los resultados geoquímicos han sido procesados y ponderados por los espesores resultando para Mariana Central valores promedio de casi 25 g/t Au y 166 g/t de Ag con una relación Ag:Au cercano a 7:1. En esta veta, la sección longitudinal muestra un clavo de alta ley de morfología subhorizontal con dimensiones de al menos 700 metros de longitud por unos 200 metros de espesor.

Para Mariana Norte los valores de Au y Ag promedian los 21,24 g/t de Au y 105 g/ de Ag, dando una relación Ag:Au cercana a ~5:1. En sección longitudinal, Mariana Norte presenta una serie de clavos de alta ley sin una orientación preferencial. El más profundo alcanza los 250 metros de profundidad y continúa abierto. Esto indica que las zonas de mayor extensión son restringidas y con cierto ángulo de inclinación en el plano de veta (*plunge*), como ocurre en fallas extensionales con componente de rumbo.



**Figura 4.18:** Geoquímica del sistema Marianas-San Marcos. Diagramas triangulares (Au\*1000-Ag\*100-Pb+Zn), modificado de Albinson et al. (2001) con las muestras de **A)** Mariana Central (n = 1165) y su valor promedio, **B)** Mariana Norte (n = 2157) y su valor promedio y **C)** San Marcos (n = 1435) y su valor promedio.

Los resultados promedio obtenidos para la veta San Marcos, corresponden a 12 g/t de Au y 115 g/t Ag con una relación Ag:Au de 9:1. En sección longitudinal muestra una serie de clavos de alta ley que en su conjunto se alinean con un raque de 25 a 30° hacia el este con tendencia a verticalizarse en ese sentido.

Por otra parte, los resultados geoquímicos permitieron caracterizar al sistema Marianas-San Marcos como un sistema mayormente aurífero según Albison et al (2001; Fig. 4.18). Además, de los metales preciosos, la signatura geoquímica incluye anomalías de As, Sb, Zn, Cu, Pb, Se, Hg y Tl. Los metales base dominados por Zn y Pb aumentan su contenido en profundidad registrando valores de hasta un 3% en Mariana Central.

#### **4.5. Alteraciones hidrotermales**

La caracterización de las alteraciones hidrotermales fue reinterpretada en base a datos de PIMA (*Portable Infrared Visible Spectrometer*) tomados del informe para la empresa OROPLATA S.A por medio de Spectral International Inc. (SII, VIS/SWIR SPECTRAL ANALYSIS). Para el sector de Marianas-San Marcos se trabajó sobre un total de 318 muestras tomadas cada 1 a 3 metros en la zona de la mineralización principal y entre 5 a 20 metros en sectores de roca de caja. Los principales minerales identificados por esta herramienta incluyen caolinita, esmectita, illita, clorita, carbonatos, yeso, dickita, alunita, sílice, hematita, goethita y ceolitas.

Con el fin de evaluar la distribución de las alteraciones fueron reinterpretados 3 perfiles representativos de las principales estructuras (Mariana Central, Mariana Norte y San Marcos), integrando información de logueos de testigo de perforación además de observaciones e interpretaciones realizadas para el área.

La figura 4.19 muestra la distribución de las diferentes zonas de alteración hidrotermal hipogénica interpretadas donde se han podido reconocer las siguientes zonas:

*Zona de esmectitas ± clorita:* Esta zona tiene un amplio desarrollo en el sector de Mariana Central y Mariana Norte con espesores de entre 50-100 metros, afectando principalmente a los depósitos de brechas de erupción hidrotermal (ver Capítulo 5) y depósitos retrabajados asociados que se encuentran por encima de la mineralización principal. Esta alteración es acompañada de abundantes vetillas de yeso. Además, fueron reconocidos niveles de alteración ácida caracterizados por la presencia de caolinita de alta cristalinidad, acompañada de piritita diseminada, ópalo, y trazas de dickita y alunita. También esta

asociación fue detectada en pequeñas fracturas en profundidad de la veta San Marcos (Fig. 4.20).

*Zona de esmectita - illita:* en el perfil de Mariana Central esta zona constituye un halo de decenas a centenas de metros con tendencia a engrosarse hacia los niveles más someros. En el perfil de Mariana Norte no se ha registrado este tipo de alteración probablemente por la cantidad de muestras y la posición de los pozos muestreados. Por su parte, en el perfil de San Marcos, su distribución se encuentra hacia la parte más somera de la veta.

*Zona de illita – esmectitas ± clorita:* Esta zona se restringe a decenas de metros alrededor de la mineralización principal, siendo más desarrollada en Mariana Central y Mariana Norte. Esta alteración oblitera parcialmente las texturas originales de la roca. Si bien la herramienta no registra la presencia de adularia, este mineral fue identificado en esta zona por petrografía junto con pirita y cuarzo.

*Zona de clorita + illita ± calcita ± epidoto:* esta zona corresponde a la porción más distal del halo de alteración y posee una amplia distribución de hasta cientos de metros de la mineralización, afectando principalmente a las Andesitas Inferiores, conservando las texturas originales de la roca. Además, esta asociación lleva cantidades variables de pirita.

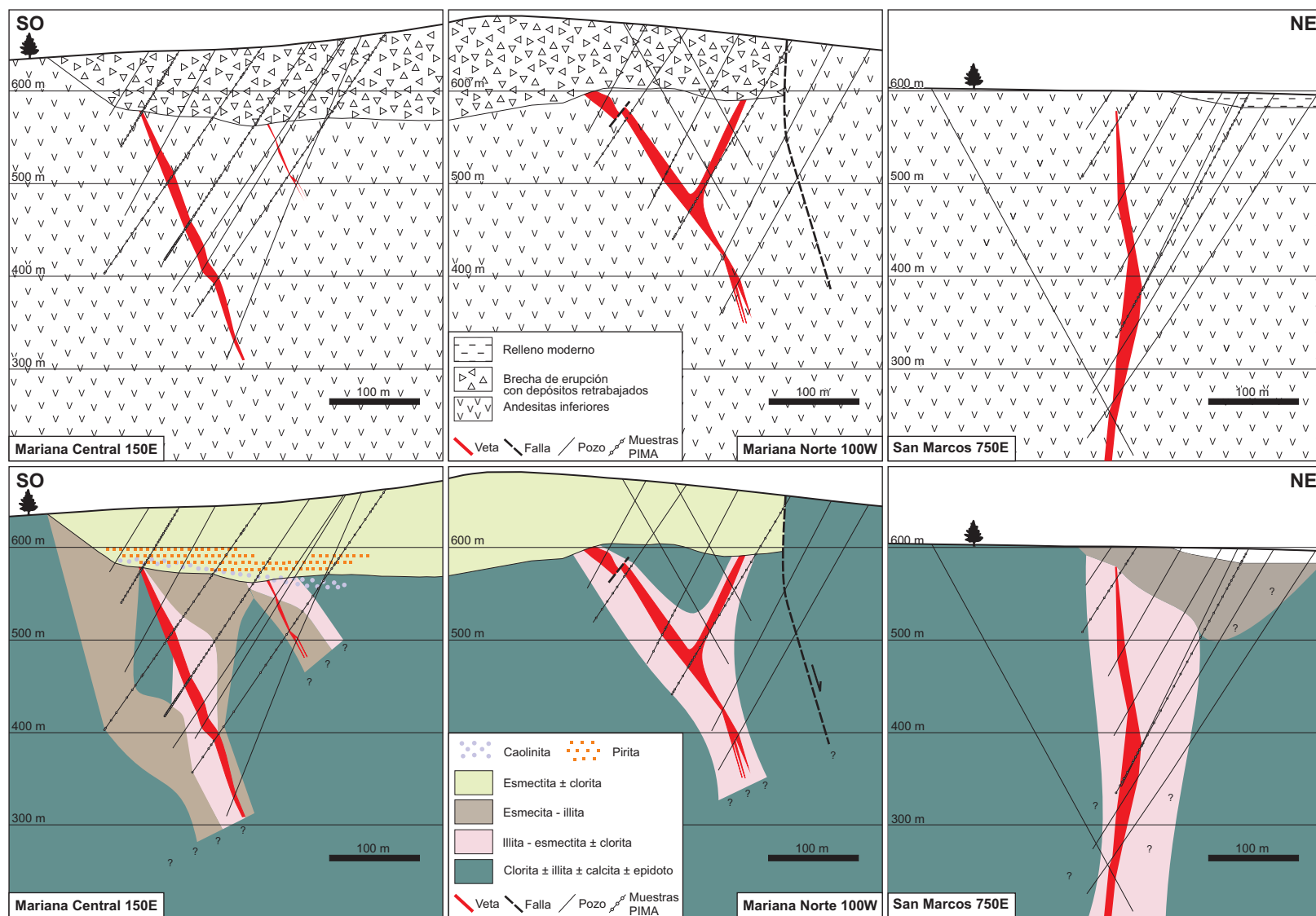
De manera tardía, se reconoce una asociación supergénica afectando a la mineralización y alteraciones primarias caracterizadas por el reemplazo parcial y/o total de adularia y minerales fibroradiados por caolinita de baja cristalinidad ± esmectita junto a vetillas de óxidos e hidróxidos de hierro.

## **4.6. Caracterización de los fluidos mineralizantes**

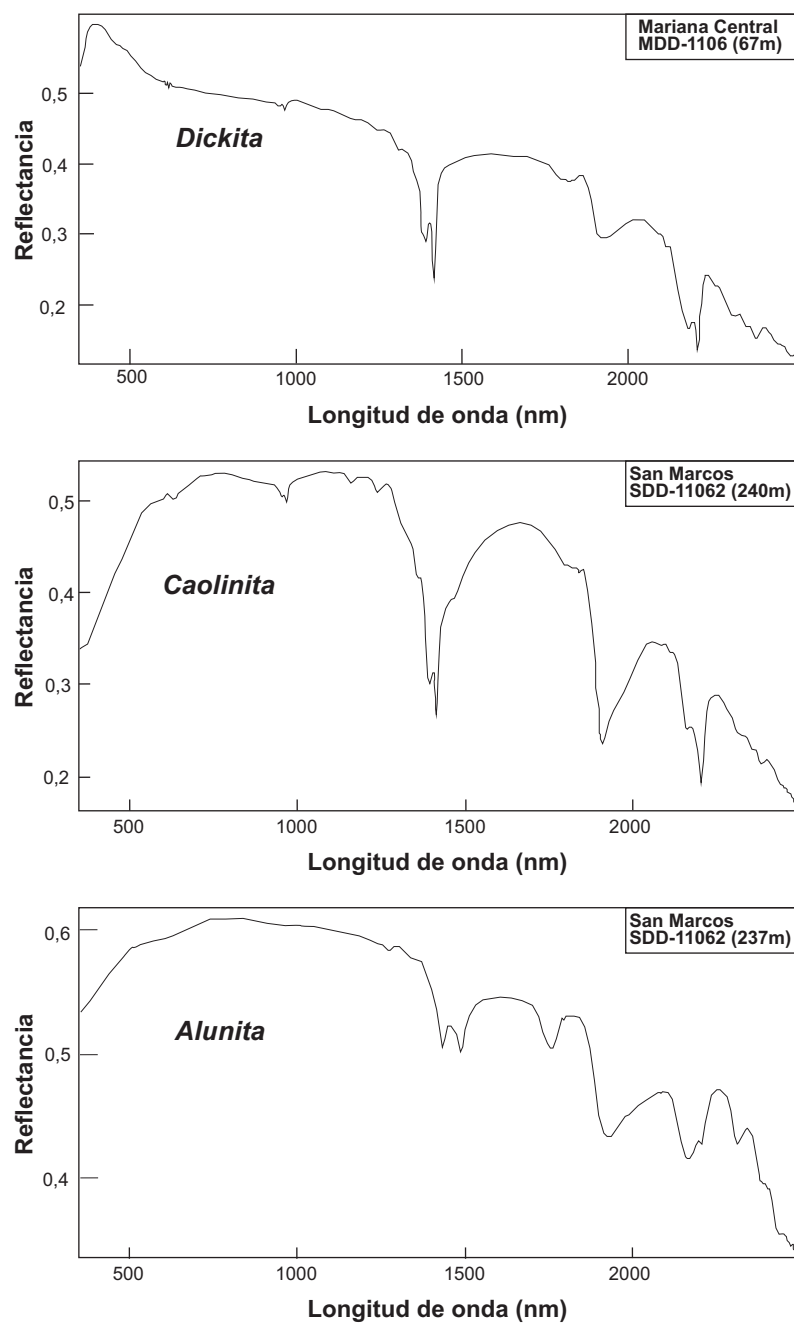
### **4.6.1. Inclusiones fluidas**

Existen numerosos estudios sobre inclusiones fluidas tanto en sistemas geotermales activos y sus equivalentes fósiles (Roedder, 1984; Hedenquist et al., 2000; Albinson et al., 2001; Simmons et al., 2005). El estudio en detalle de las familias de inclusiones fluidas (FIAs; Goldstein & Reynolds, 1994) proporciona evidencias de las características fisicoquímicas de las condiciones en las cuales se forman los depósitos epitermales (Bodnar et al., 1985). El término FIAs representa un grupo de inclusiones que fueron atrapadas en el mismo tiempo. Estas inclusiones pueden ser primarias (entrampadas durante la precipitación del cristal) o pueden ser secundarias (alojadas en microfracturas posteriores).





**Figura 4.19:** Distribución de las principales asociaciones de alteraciones hidrotermales interpretadas a partir de los datos de PIMA (ASD TERRASPEC) para las principales estructuras del sistema Marianas-San Marcos.



**Figura 4.20:** Espectro de reflectancia de dickita, caolinita de alta cristalinidad y alunita.

En el Macizo del Deseado existen numerosos trabajos con datos de inclusiones fluidas, sin embargo en su mayoría se han efectuado sobre cuarzo (originariamente sílice amorfa o calcedonia) que no representan las condiciones originales del fluido porque han sufrido recristalización. En el sistema Mariana-San Marcos, la mayoría de la sílice depositada en las vetas proviene de sílice amorfa y/o calcedonia que ha sido recristalizado, limitando el análisis a pocas muestras donde el tamaño de los cristales es mayor y no han sufrido recristalización.

## Metodología

Un total de 21 secciones bi-pulidas correspondientes a los diferentes pulsos mineralizantes del sistema Marianas-San Marcos, fueron estudiadas en el microscopio petrográfico, con el fin de caracterizar su mineralogía y evaluar sus texturas.

Luego, se identificaron de manera sistemática las distintas familias de inclusiones (FIAs) y sus características siguiendo los criterios de Goldstein & Reynolds (1994). Finalmente, un total de 41 FIAs en 9 muestras fueron seleccionadas para realizar análisis microtermométricos, llevados a cabo en el Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTM) en Belo Horizonte (Brasil), en el Departamento de Geología de la Universidad de Buenos Aires (UBA) y en el Laboratorio de Inclusiones Fluidas de la Universidad de Virginia (EEUU). Los ensayos fueron realizados en platinas calentamiento/enfriamiento Linkam FTIR-600, THMSG-600, montadas sobre microscopios ópticos con sus respectivos sistemas para la obtención de imágenes. De esta manera, se obtuvieron datos de temperaturas de congelamiento ( $T_m$ ), temperatura de homogenización ( $T_h$ ) y temperaturas del eutéctico ( $T_e$ ). Por último, la salinidad fue calculada a partir de los valores de  $T_m$  según los valores propuestos por Bodnar & Vityk (1994).

Por otra parte, en la Universidad de Virginia se ensayaron muestras mediante Raman de marca Labram ([www.horiba.com](http://www.horiba.com)), con láser argón iónico de 514-nm, 40 mW de energía y un objetivo x40 aumentos. Además, se llevaron a cabo microanálisis en Laser ablation (LA-ICP-MS) utilizando un láser Microlas 193 nm ([www.coherent.com](http://www.coherent.com)) acoplado a un espectrómetro Agilent 7500 ce ([www.agilent.com](http://www.agilent.com)). Los elementos analizados fueron Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb, Ag, Au, As, Sb, Se y Te. La calibración fue realizada utilizando los estándares en vidrios de cuarzo puro NIST610 (ver Heinrich et al., 2003). La reducción de los datos fue realizada con el software AMS ([www.geochem.geos.vt.edu/fluids/](http://www.geochem.geos.vt.edu/fluids/))

## Resultados

Los minerales transparentes analizados corresponden a adularia, albita, cuarzo y calcita. Las inclusiones presentan tamaños entre 10 y 30  $\mu\text{m}$  con morfologías rectangulares principalmente en adularia, albita y calcita hasta morfologías ovoidales y hexagonales en cuarzo (Tabla 4.2; Fig. 4.21). De acuerdo a lo observado se ha identificado los siguientes grupos de inclusiones principales utilizando los criterios de Roedder (1984) y Goldstein & Reynolds (1994) a) inclusiones primarias bifásicas con relaciones líquido-vapor de 90 a 95%, b) inclusiones primarias bifásicas con relaciones líquido-vapor de 90 a 95% con cristales de illita atrapados, c) inclusiones secundarias bifásicas ricas en el líquido algunas coexistiendo con inclusiones ricas en vapor con relaciones de fases variables, d) inclusiones secundarias ricas en vapor. La fase de illita en inclusiones ricas en líquido fue identificada mediante análisis Raman, e interpretada como una fase sólida atrapada ya que no es uniforme en toda la FIA y su tamaño es variable (Fig. 4.22). Por otra parte, no se han detectado evidencias de la presencia de  $\text{CO}_2$  tanto en los análisis microtermométricos, como en el Raman.

Las temperaturas obtenidas varían entre 221° hasta 302,5°C con salinidades de hasta 3% NaCl eq. en un total de 41 FIAs (Tabla 4.2; Fig. 4.23). La temperatura del eutéctico fue obtenida en unas pocas muestras con valores que varían entre -21° hasta -23,5, sugiriendo que los fluidos corresponden al sistema  $\text{H}_2\text{O}$ -NaCl-(KCl) ( $T_e$ =-21,2° a -22,9 °C).

En el Pulso 1, un total de 13 FIAs fueron medidas en cristales de adularia tabular y subrómica coexistiendo con cuarzo de grano grueso en etapas tempranas del bandeo. Se trata de inclusiones primarias bifásicas (líquido + vapor) y algunas con cristales de illita atrapados (Figs. 4.21 A, B, 4.22), con temperaturas de homogenización que varían entre 221 a 286°C y salinidades de hasta 2,9 % de NaCl eq. (Tabla 4.2; Fig. 4.23). En muestras con texturas bandeadas crustiforme a coliforme grueso, los cristales de cuarzo euhedrales intercrecidos con sulfuros, se midieron 11 FIAs con inclusiones bifásicas (Fig. 4.21 C, D) algunas con cristales de illita atrapados. Las mismas registran temperaturas de homogenización entre 263 a 290°C con salinidades de hasta 1,74 % NaCl eq. (Tabla 4.2; Fig. 4.23). La composición de algunas inclusiones representativas medidas por LA-ICP-MS registran valores de Na, K, Ca con trazas de As y Sb (Tabla 4.3). Por otra parte, se pudo medir una familia de inclusiones primarias en platycalcita, que arrojó  $T_h$  de 250°C y salinidades de 0,88 % NaCl eq. (Tabla 4.2; Fig. 4.23)

Frecuentemente, en el pulso 1 se registran trenes de inclusiones secundarias bifásicas coexistiendo con inclusiones ricas en vapor cómo también FIAs compuestas únicamente por inclusiones ricas en vapor, cortando a los cristales de cuarzo y adularia (Fig. 4.21 D-F, H).

Las temperaturas de homogenización en inclusiones bifásicas registran valores entre 264 a 302°C y salinidades de hasta 1,74% NaCl eq. (Tabla 4.2; Fig. 4.23) La composición medida por LA-ICP-MS arroja valores de Na, K, Ca con trazas de As, Sb, Zn y Fe (Tabla 4.3).

El pulso 2 no registra inclusiones primarias posibles de medir dado que prácticamente se encuentra todo recrystalizado. Solo ha sido posible medir una FIA de inclusiones secundarias bifásicas (líquido + vapor) coexistiendo con inclusiones de vapor, en un fragmento del pulso 2 en la brecha del pulso 6, con temperaturas Th de 270°C y salinidades de 1,2 % NaCl eq. (Tabla 4.2; Figs. 4.21F, 4.23).

En el pulso 4 una FIA de inclusiones primarias en cristales de albita, ovoidales a rectangulares con relaciones de fases 90-95% de líquido, registran Th de 279 a 294°C con salinidades de 3% NaCl eq. (Tabla 4.2; Fig. 4.23).

Finalmente, en el pulso 9, un total de 3 FIAs de inclusiones primarias bifásicas en cristales de calcita rómbica tardía arrojaron Th de 290° y salinidades de 1% NaCl eq. (Tabla 4.2, Figs. 4.21G, 4.23). La composición de las inclusiones registra valores de Na y Ca (Tabla 4.3). Además, en una de las muestras se observa una FIA de inclusiones secundarias ricas en vapor (Figs. 4.21H, 4.23).

#### **4.6.2. Isótopos estables**

Los isótopos estables en sistemas hidrotermales indican una componente de aguas meteóricas principal con participación de aguas magmáticas (Simmons et al., 2005). La naturaleza de estos fluidos se estima mediante el estudio de relaciones isotópicas de H y O y su comparación con distintos tipos de aguas naturales. El mayor conocimiento de las características geológicas y de los fluidos permite evaluar con mayor precisión la interacción de los fluidos con las rocas encajantes, a fin de evaluar diversos procesos mineralizantes. El principal problema radica en que es muy difícil muestrear directamente al fluido (e.g. inclusiones fluidas), por lo que los datos obtenidos provienen de estimaciones derivadas de valores de referencia (e.g. minerales), asumiendo un serie de consideraciones.

#### **Metodología**

Un total de 18 muestras fueron seleccionadas para el análisis de isótopos estables (O, H, C) para las vetas del sistema Marianas-San Marcos. Los análisis fueron llevados a cabo en el laboratorio ActLabs ([www.actlabs.com](http://www.actlabs.com)). Para los isótopos de O se seleccionaron muestras

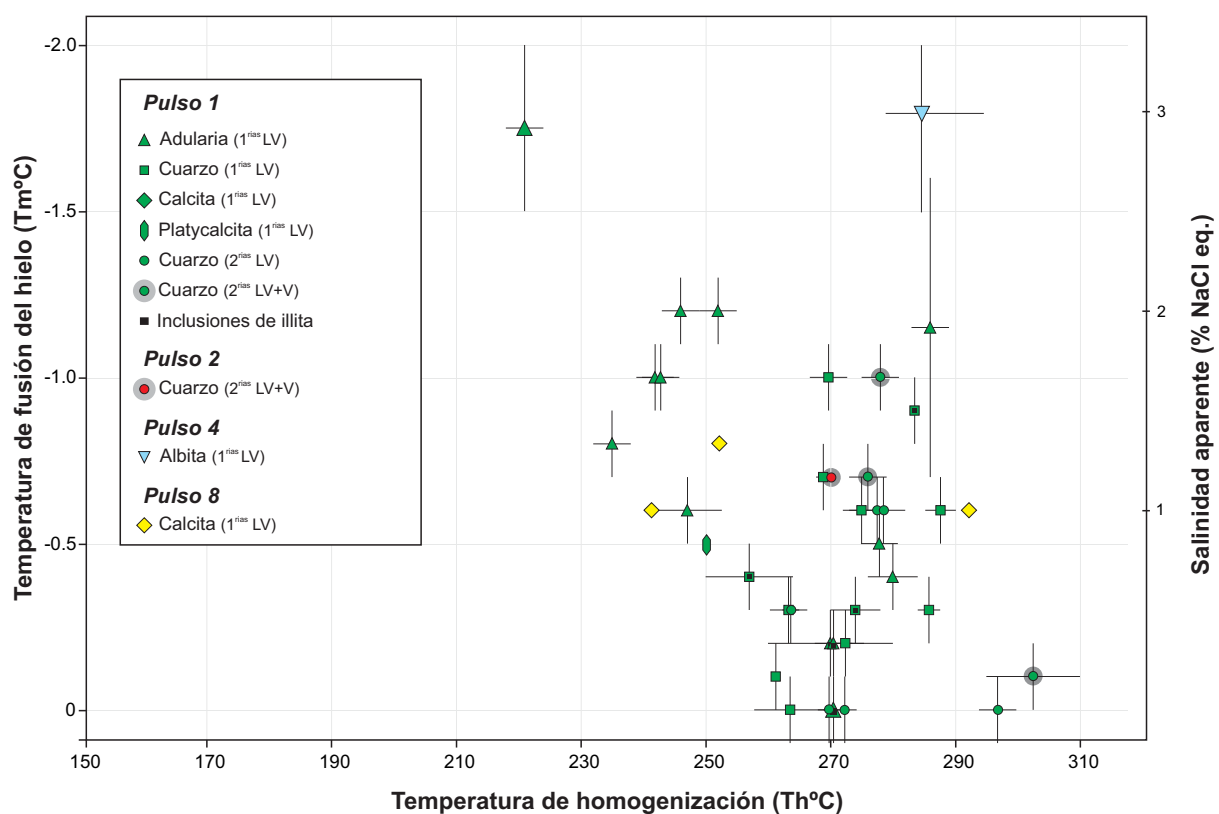


**Tabla 4.2:** Resumen de los resultados microtermométricos del análisis de inclusiones fluidas para el sistema Marianas-San Marcos

Muestra_chip_FIA	Pozo	Veta	Pulso	Mineral	n	Tipo	Te (°C)	Th rango (°C)	Th promedio(°C)	Tm rango (°C)	Tm promedio (°C)	Salinidad (%NaCl eq.)	Observaciones
102878_2_2	MDD-1060	MC	1	Adularia	>5	p	-	276-284	280,0	-0,5 a -0,3	-0,4	0,71	
102878_2_2	MDD-1060	MC	1	Adularia	2	p	-	270,5	270,5	-0,3 a -0,1	-0,2	0,5	
102878_4_1	MDD-1060	MC	1	Adularia	1	p	-	252	252,0	-1,3 a -1,1	-1,2	2,07	
102878_A_1	MDD-1060	MC	1	Adularia	6	p	-	286	286,0	-1,6 a -0,7	-1,15	1,91	
102878_A_3	MDD-1060	MC	1	Adularia	2	p	-	241,9	241,9	-1,1 a -0,9	-1	1,74	
102878_A_4	MDD-1060	MC	1	Adularia	5	p	-	246	246,0	-1,3 a -1,1	-1,2	2,07	
107530_A_1	MDD-10161	MN	3	Albita	3	p	-	278,8-294,6	284,5	-2,1 a -1,6	-1,8	3,06	
112245_1	MDD-1104	MC	9	Calcita r6mbica	3	p	-	290-295	292,5	-0,7 a -0,5	-0,6	1,05	2 <sup>rias</sup> (V)
112251_1_1	MDD-1104	MC	1	Cuarzo	>10	p	-	270-278	274,0	-0,4 a -0,2	-0,3	0,53	Raman (illita)
112251_1_3	MDD-1104	MC	1	Adularia	3	p	-	268-273	270,5	0	0	0,00	Raman (illita)
112251_2_1	MDD-1104	MC	1	Adularia	2	p	-	260-280	270,0	-0,3 a -0,1	-0,2	0,35	
112251_3_1	MDD-1104	MC	1	Adularia	6	p	-	241,6-252,6	247,1	-0,7 a -0,5	-0,6	0,71	
112251_4_2	MDD-1104	MC	1	Cuarzo	2	s	-	262,3-265	263,6	-0,4 a -0,2	-0,3	0,53	
112251_4_3	MDD-1104	MC	1	Cuarzo	6	s	-	270,4-274,2	272,3	0	0	0	illita
112672#2_1_A	MDD-1119	MC	1	Cuarzo	>10	s	-	295-310	302,5	-0,2 a 0	-0,1	0,18	
112672#2_1_B	MDD-1119	MC	1	Cuarzo	5	p	-	257,8-269,3	263,5	0	0	0	Raman (illita)
112672#2_1_C	MDD-1119	MC	1	Cuarzo	5	p	-	285,2-290,1	287,6	-0,7 a -0,5	-0,6	1,05	2 <sup>rias</sup> (LV+V)
112672#2_2_A	MDD-1119	MC	1	Adularia	5	p	-	274,9-280,8	277,9	-0,6 a -0,4	-0,5	0,88	2 <sup>rias</sup> (LV+V)
112672_1_1	MDD-1119	MC	1	Cuarzo	6	s	-	273-282	277,5	-0,7 a -0,5	-0,6	1,05	
112672_1_2	MDD-1119	MC	1	Cuarzo	5	p	-	267,7-270	268,9	-0,8 a -0,6	-0,7	1,23	
112672_1_3	MDD-1119	MC	1	Cuarzo	3	p	-	263,3	263,3	-0,4 a -0,2	-0,3	0,53	
112672_3_1	MDD-1119	MC	1	Cuarzo	>10	p	-	250-264	257,0	-0,5 a -0,3	-0,4	0,71	Raman (illita)
112672_A_2	MDD-1119	MC	1	Adularia	1	p	-	221	221,0	-1,5 a -2	-1,7	2,9	
112672_A_3	MDD-1119	MC	1	Adularia	2	p	-	242,8	242,8	-1,1 a -0,9	-1	1,74	
112672_A_4	MDD-1119	MC	1	Adularia	9	p	-	235	235,0	-0,9 a -0,7	-0,8	1,4	
185452_1_1	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	6	p	-	269,7	269,7	-1,1 a -0,9	-1	1,74	
185452_1_1	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	2	s	-	275-277	276,0	-0,8 a -0,6	-0,7	1,23	
185452_1_2	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	1	p	-	346-353,6	349,8	-1,1 a -0,9	-1	1,74	2 <sup>rias</sup> (LV+V)
185452_1_2	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	>10	s	-	296,8	296,8	0	0	0	
185452_1_2	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	>10	s	-	277-279	278,0	-1,1 a -0,9	-1	1,74	laser
185452_1_2	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	2	s	-	278-279	278,5	-0,7 a -0,5	-0,6	1,05	
185452_1_3	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	3	p	-24,3	272,4	272,4	-0,3 a -0,1	-0,2	0,35	
185452_1_4	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	4	s	-	268,9-270,7	269,8	0	0	0	
185452_1_5	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	5	p	-	284-287,6	285,8	-0,4 a -0,2	-0,3	0,53	
185452_2_1	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	6	p	-	275	275,0	-0,7 a -0,5	-0,6	1,05	
185452_3_1	MDD-11294	MC	1	Calcita r6mbica	5	p	-21,5	249-252	251,0	-0,9 a -0,7	-0,8	1,4	laser
185452_4	MDD-11294	MC	1	Platy Calcita	>5	p	-	250	250,0	-0,6 a -0,4	-0,5	0,88	
185482_3_2	MDD-11294	MC	1	Calcita r6mbica	8	p	-	237,8-241,6	240,0	-0,7 a -0,5	-0,6	1,05	
222797_3_1	MDD-12155	MC	1	Cuarzo	>10	p	-	275-292	283,5	-1,0 a -0,8	-0,9	1,57	illita
222797_3_4	MDD-12155	MC	1	Cuarzo	>10	p	-	253,5-269	261,2	-0,2 a 0	-0,1	0,18	2 <sup>rias</sup> (LV+V)
91886_1_1	MDD-1041	MC	2	Cuarzo	3	s	-21	270	270,0	-0,8 a -0,6	-0,7	1,23	2 <sup>rias</sup> ricas en vapor

**Referencias:** MC: Mariana Central; MN: Mariana Norte; Th: temperatura de homogenizaci6n; Tm: temperatura de fusi6n de hielo; Te: temperatura del eut6ctico; p: primarias; s: secundarias; n: n6mero de inclusiones.

Las salinidades fueron calculadas de acuerdo a Bodnar y Vityk (1993).



**Figura 4.23:** Diagrama de temperatura de homogenización ( $T_h$ ) vs. temperatura de fusión del hielo ( $T_m$ ) y salinidad aparente para las distintas FIAs del sistema Marianas-San Marcos. Las barras horizontales y verticales corresponden a las variaciones registradas para cada grupo.

**Tabla 4.3:** Resultados de los análisis de LA-ICP-MS en inclusiones del sistema Marianas-San Marcos

Muestra	Pozo	Veta	Pulso	Mineral	tipo	Na	Mg	K	Ca	Mn	Fe	Cu	Pb	Zn	As	Sb	Se	Ag	Te	Au
112251_4	MDD-1104	MC	1	Cuarzo	p	8717	-	854	526	-	-	-	3,4	-	27,8	181,4	-	-	-	-
112251_4	MDD-1104	MC	1	Cuarzo	p	1518	-	9821	820	36,9	-	-	2,4	82,1	29,9	169,9	-	-	-	-
102878_4_1	MDD-1060	MC	1	Cuarzo	s	1082	-	9122	131	7,9	-	-	-	-	-	28,9	-	-	-	-
112251_4_3	MDD-1104	MC	1	Cuarzo	s	8287	-	4503	509	-	-	-	-	-	113,5	425,9	-	-	-	-
112251_4_2	MDD-1104	MC	1	Cuarzo	s	6838	-	3604	1528	-	-	-	2,1	-	-	206,9	-	-	-	-
22297_1_3	MDD-12155	MC	1	Cuarzo	s	655	-	7428	22	-	46,2	-	1,0	482,8	36,8	73,6	-	-	-	-
22297_1_3	MDD-12155	MC	1	Cuarzo	s	2464	-	5452	73	-	-	-	1,3	-	33,5	69,3	-	-	-	-
22297_1_3	MDD-12155	MC	1	Cuarzo	s	4419	-	1555	104	-	-	-	-	-	356,3	979,6	-	-	-	-
185452_1_3	MDD-11294	MC	1	Cuarzo	s	1767	-	9779	83	-	-	-	5,0	-	78,6	185,8	-	-	-	-
185452_3_2	MDD-11294	MC	1	Calcita	p	54	-	10	8596	44,3	0,7	-	0,0	-	-	-	-	-	-	-
185452_3_3	MDD-11294	MC	1	Calcita	p	6	1,02	1	8644	46,7	0,8	-	-	-	0,2	-	-	-	-	-
185452_3_4	MDD-11294	MC	1	Calcita	p	9	1,76	1	8627	62,5	1,3	-	-	-	0,1	-	-	-	-	-

**Referencias:** MC: Mariana Norte; p: primarias; s: secundarias.

Nota: valores en ppm.

ricas en adularia del pulso mineralizante 1 y muestras ricas en arcillas (esmectitas) en equilibrio con las adularias y arcillas tardías, con el fin obtener el par isotópico O-H. Por otra parte, un total de 5 muestras ricas en calcita del pulso 9 fueron analizadas para obtener los contenidos isotópicos del C y O. Finalmente, se analizaron 3 muestras ricas en pirita del pulso 1 para determinaciones de isótopos de S.

### Resultados de isótopos de H y O

En el sistema Marianas-San Marcos los datos isotópicos provienen de cristales de adularia y de arcillas correspondientes al pulso mineralizante 1 de alta ley de Au-Ag. Los resultados de isótopos de O varían entre 1,4 hasta 5 ‰, mientras que los datos obtenidos de isótopos de H en arcillas varían entre -80 a -70‰, respectivamente (Tabla 4.4).

Para obtener los valores isotópicos de los fluidos hidrotermales en equilibrio con las adularias se utilizaron los datos de inclusiones fluidas (250°C) y las fórmulas de Zheng (1993). Los valores obtenidos varían entre -2,8 a 0,8‰.

Para las arcillas tempranas interpretadas como producto de la precipitación directa del fluido hidrotermal se utilizó una temperatura de 250°C ya que se observan en equilibrio con el cuarzo y las adularias. Utilizando la fórmula de Sheppard & Gilg (1996) los valores obtenidos son de entre -2 a -3‰ para el fluido en equilibrio. Por otra parte, para las arcillas tardías se utilizó un valor de referencia de 120°C al igual que utiliza Faure et al. (2002) para arcillas equivalentes en el depósito Hishikari (Japón), arrojando valores de entre -8 a -9‰.

En cuanto a los valores de fraccionamiento del isótopo de H entre las esmectitas y el fluido, se utilizó un valor de  $15 \pm 5$ ‰ de acuerdo a Sheppard & Gilg (1996). Los resultados promedian los -57 ‰ para las esmectitas tempranas y los -60‰ para las tardías.

De esta manera el diagrama  $\delta O$  vs.  $\delta D$  (Fig. 4.24) muestra la composición isotópica del fluido correspondiente al sistema Marianas-San Marcos, donde las muestras de adularia y arcillas tempranas caen entre la línea de aguas meteóricas y el campo de aguas volcánicas, mientras que las arcillas tardías que cortan a los bandeados caen próximos a la línea de aguas meteóricas. La composición isotópica indica un *trend* positivo desde las aguas meteóricas como resultado de la circulación profunda de los fluidos y su interacción con la roca de caja a  $\delta D$  constante dado que el H presenta muy poco fraccionamiento isotópico durante la relación agua-roca, como ocurre en algunos sistemas geotermales activos (Giggenbach, 1992). Además, existe la posibilidad de un aporte de aguas magmáticas al sistema (e.g. Echeveste, 2005; López, 2006).

Las arcillas tardías, interpretadas como producto de alteración de la adularia, reflejan condiciones de desequilibrio isotópico respecto de las arcillas tempranas y la adularia a temperaturas menores de 200°C (Faure et al., 2002; Cole, 1994).

#### Resultados de isótopos de C, O

En el sistema Marianas-San Marcos la calcita ocurre principalmente en el pulso 9 como vetillas, rellenos y brechas (Fig. 4.7D). Los datos de inclusiones fluidas, indican que la calcita se formó a temperaturas similares a la de los pulsos mineralizantes de cuarzo y adularia (Tabla 4.2; Fig. 4.23).

Los resultados obtenidos fueron comparados con los datos isotópicos para lo travertinos del área (López, 2006). La composición isotópica de C varía entre -9 y -8,5 ‰ y de O entre -1 y 1 ‰ (Tabla 4.5).

La figura 4.24B muestra el diagrama C vs O donde los datos se plotean próximos a la curva correspondiente a  $\text{H}_2\text{CO}_3$  como especie dominante de carbono oxidado en el fluido (pH 6; Faure, 1986). Los valores de temperatura confirman los resultados obtenidos mediante inclusiones fluidas ( $T_h=250^\circ\text{C}$ ) para las calcitas del pulso 8 mientras que los depósitos de *hot spring* se sitúan a menores temperaturas ( $\sim 50^\circ\text{C}$ ). Resultados similares se encuentran en el sistema geotermal activo Broadlands-Ohakki en Nueva Zelanda (Simmons & Christenson, 1994) y en otras mineralizaciones jurásicas del Macizo del Deseado (Echeveste, 2005; Moreira, 2005; Ruiz, 2012; entre otros).

Tomando las temperaturas medidas en las inclusiones fluidas para la calcita se determinó la composición isotópica de O y C del fluido en equilibrio con los carbonatos según O'Neil et al. (1969) y Friedman & O'Neil (1977), arrojando valores de -6 a -8,5‰ de  $\delta^{18}\text{O}$  y de -6 a -7,5 de  $\delta^{13}\text{C}$  (Tabla 4.5, Fig. 4.24 C, D). Así, los fluidos que dieron origen a las calcitas tardías en el sistema, presentan una composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  más ligera respecto a los calculados para el pulso 1 en adularia y arcillas (-3 a 0‰) próxima a la de las arcillas tardías (-8 a -9‰) y las aguas meteóricas (Fig. 4.24A). Por su parte los fluidos en equilibrio con los depósitos de *hot spring* se aproximan a los valores obtenidos en las adularias y arcillas del pulso 1.

#### Resultados de isótopos de S

Para caracterizar los isótopos de azufre, 3 muestras de sulfuros (pirita) correspondientes al pulso 1 fueron analizadas. Las relaciones isotópicas arrojan valores de -0.51‰ para San Marcos, 0,9‰ para Mariana Norte y 0,2 ‰ para Mariana Central (Tabla



**Tabla 4.4:** Valores de isótopos de  $\delta^{18}\text{O}$  y de  $\delta\text{D}$  obtenidos para el sistema Marianas-San Marcos

Muestra	Pozo	Veta	Prof. (m)	Pulso	Mineral	Descripción	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	$\delta\text{D}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{fluido}}$ VSMOW (‰)	$\delta\text{D}_{\text{fluido}}$ VSMOW (‰)
96336	MDD-1015	MN	509	1	adularia	adularia tabular gruesa	5,4		-0,4*	
112251	MDD-1104	MC	364	1	adularia	adularia tabular gruesa	3,0		-2,8*	
112672	MDD-1119	MC	420	1	adularia	adularia rómbica fina	5,1		-0,7*	
106980	SDD-1048	SM	330	1	adularia	adularia rómbica fina	6,6		0,8*	
102059	MDD-1028	MC	467	1	adularia	adularia tabular gruesa	4,7		-1,1*	
102059	MDD-1028	MC	467	1	esmectitas	tempranas con sulfuros	1,4	-74,2	-3,9**	-59,2
96336	MDD-1015	MN	509	1	esmectitas	tempranas en bandeado	2,7	-72,0	-2,6**	-57,0
112251	MDD-1104	MC	364	1	esmectitas	tempranas en bandeado	2,1	-70,0	-3,2**	-55,0
107532	MDD-1061	MN	469	1	esmectitas	tardías brechando	3,6	-71,4	-8,8***	-56,4
79341?	SDD-1013	SM	474	1	esmectitas	tardías en bandeado	4,5	-79,8	-7,9***	-64,8

**Referencias:** MC: Mariana Central; MN: Mariana Norte; SM: San Marcos.

\* Según ecuación de Zheng (1993) a 250°C; \*\* según ecuación de Sheppard & Gilg (1996) a 250°C y \*\*\* a 150°C.

**Tabla 4.5:** Valores de isótopos de  $\delta^{13}\text{C}$  y  $\delta^{18}\text{O}$  obtenidos para el sistema Marianas-San Marcos

Muestra	Pozo	Veta	Prof. (m)	Pulso	Mineral	Descripción	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VPDB}}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{VPDB}}$ (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{VSMOW}}$ (‰)	$\delta^{13}\text{C}_{\text{fluido}}$ VPDB (‰)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{fluido}}$ VSMOW (‰)
102059	MDD-1028	MC	467	9	calcita	mezcladas con arcillas	-29,4	-8,5	0,6	-7.22**	-6,7*
100926	MDD-1032	MN	520	9	calcita	en el bandeado	-28,8	-9,0	1,2	-7.72**	-6,1*
107532	MDD-1061	MN	469	9	calcita	vetillas masivas	-31,1	-9,2	-1,2	-7.85**	-8,5*
112224	MDD-1104	MC	482	9	calcita	vetillas masivas	-31,1	-8,7	-1,2	-7.35**	-8,5*
112245	MDD-1104	MC	370	9	calcita	brechas masivas	-29,0	-8,7	1,0	-7.38**	-6,3*

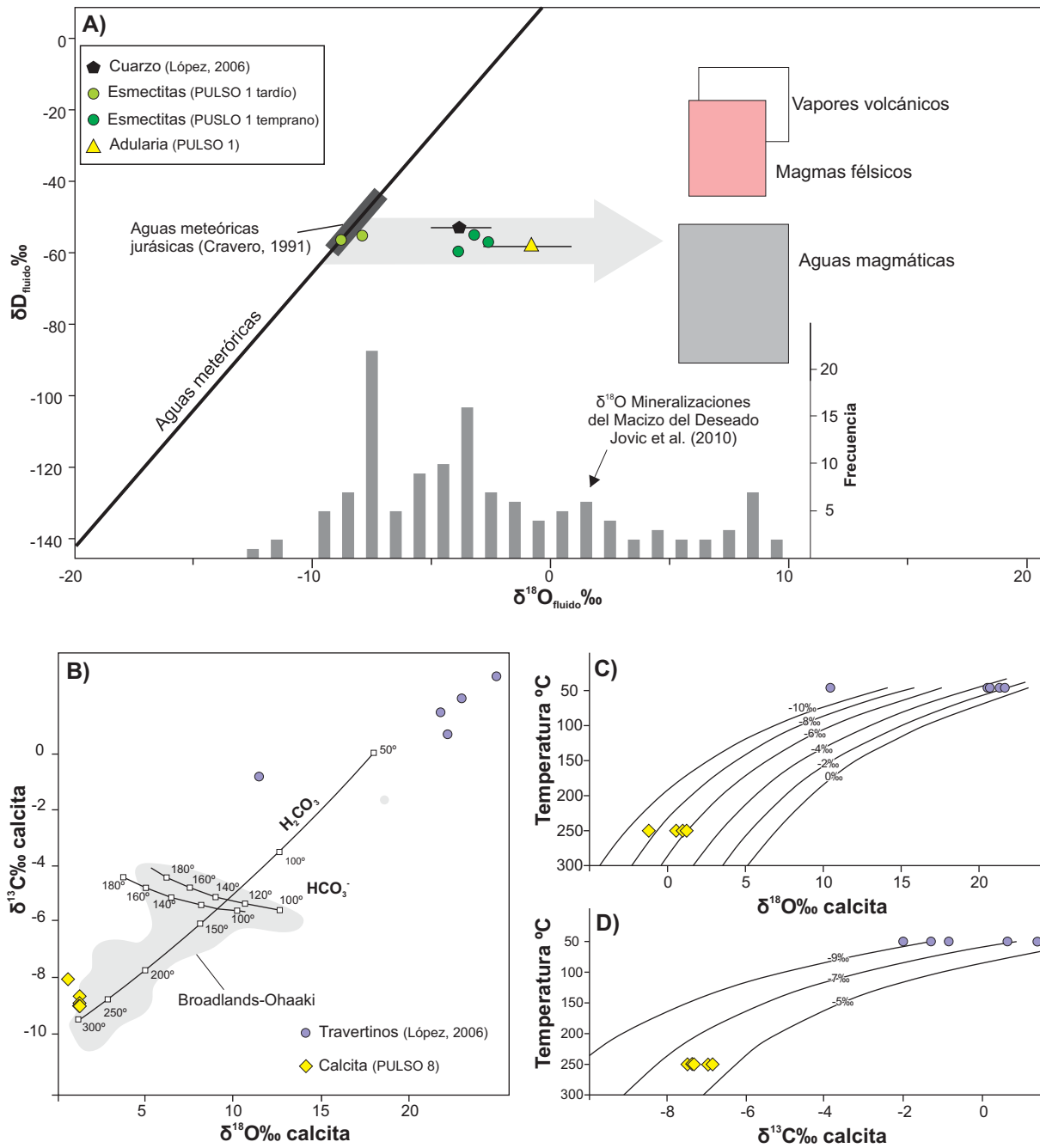
\* Según ecuación de O'Neil, et al. (1969) a 250°C.

\*\* Según ecuación de Bottinga (1968), O'Neil et al. (1969) y Ohmoto & Rye (1979) a 250°C.

**Tabla 4.6:** Valores de isótopos de  $\delta^{34}\text{S}$  obtenidos para el sistema Marianas-San Marcos

Muestra	Pozo	Veta	Prof. (m)	Pulso	Mineral	Descripción	$\delta^{34}\text{S}_{\text{VCDT}}$ (‰)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{fluido VCDT}}$ (‰)
112672	MDD-1119	MC	420	1	pirita	con sulfuros y arcillas	0,2	-1,2
107532	MDD-1061	MN	469	1	pirita	con sulfuros y arcillas	0,9	-0,6
106980	SDD-1048	SM	330	1	pirita	con sulfuros y arcillas	-0,5	-2,0

\* Según ecuación de Ohmoto & Rye (1979) a 250°C.



**Figura 4.24:** Isótopos estables del sistema Marianas-San Marcos. **A)** Diagrama isotópico estable ( $\delta D$  vs.  $\delta^{18}O$ ) de los fluidos en equilibrio con las muestras de adularia y arcillas del pulso 1 (flecha indica tren evolutivo), junto a diferentes campos de referencia tanto el Macizo del Deseado (Jovic et al., 2010) como así también rangos generales obtenidos para diferentes ambientes. Nota: las barras indican la variación de los valores para cuarzo y adularia. **B)** Diagrama isotópico estable ( $\delta^{13}C$  vs.  $\delta^{18}O$ ) en calcita del pulso 8 y de travertinos, utilizando los valores de referencias de Simmons & Christenson (1994) para la zona de Broadlands-Ohaaki (Nueva Zelanda). Las curvas representan la composición isotópica en equilibrio para una composición de  $\delta^{13}C = -7,5 \text{ ‰}$  y  $\delta^{18}O_{\text{fluido}} = -6,0 \text{ ‰}$ , según Simmons & Christenson (1994). La correlación positiva indica los isotopos de C y O fueron equilibrados con  $H_2CO_3$  como especie dominante de carbono oxidado en el fluido entre  $300^\circ$  y  $50^\circ C$ . **C-D)** Composición  $\delta^{18}O$  y de  $\delta^{13}C$  de calcita del pulso 8 y travertinos vs. temperatura. Las curvas representan la composición del fluido en equilibrio según la temperatura según Bottinga (1968), O'Neil et al. (1969) y Ohmoto & Rye (1979). Para la calcita se consideró una temperatura de  $\sim 250^\circ C$  medida en inclusiones, mientras que para los travertinos se utiliza la temperatura de  $50^\circ C$  como valor de referencia.

4.6). Los valores isotópicos corresponden a un fluido en equilibrio de entre -1 a 2‰ utilizando las ecuaciones de Ohmoto & Rye (1979), los que sugieren un origen magmático para la fuente de azufre en los minerales de mena (Hoefs, 1987), o a un reequilibrio de los fluidos mineralizantes con la secuencia volcánica que aloja las vetas, y/o una combinación de ambos procesos.

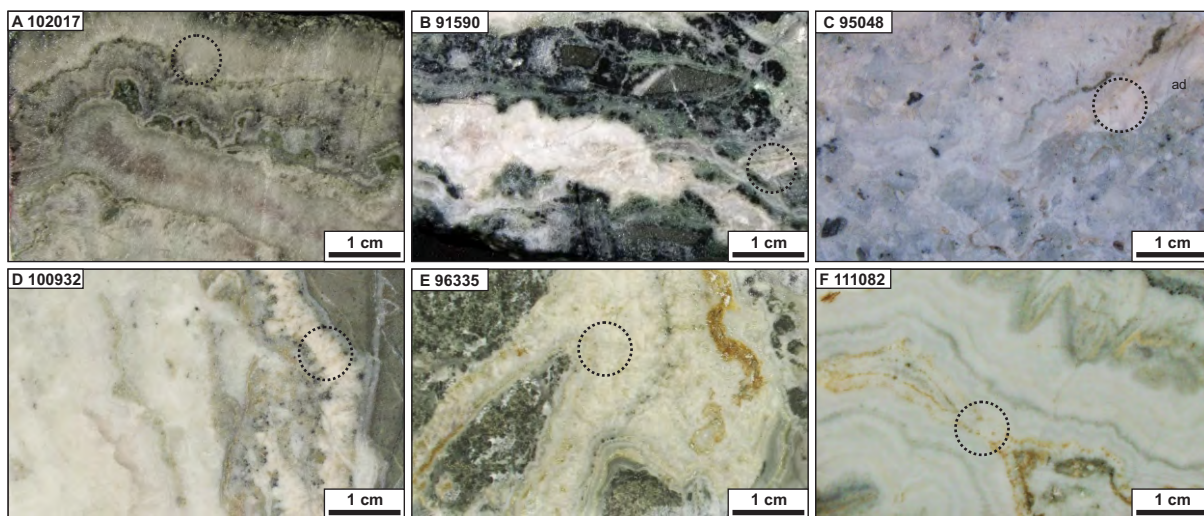
#### 4.7. Edad de la mineralización

Seis muestras fueron seleccionadas para realizar dataciones  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  en adularia para definir la edad de las mineralizaciones del sistema Marianas-San Marcos. Tres corresponden a Mariana Central, dos a Mariana Norte y una a San Marcos. Todas las muestras seleccionadas corresponden al E1, principal evento mineralizante, donde el contenido de adularia es mayor. Las dataciones fueron realizadas en la Universidad de Auburn (Alabama, EEUU).

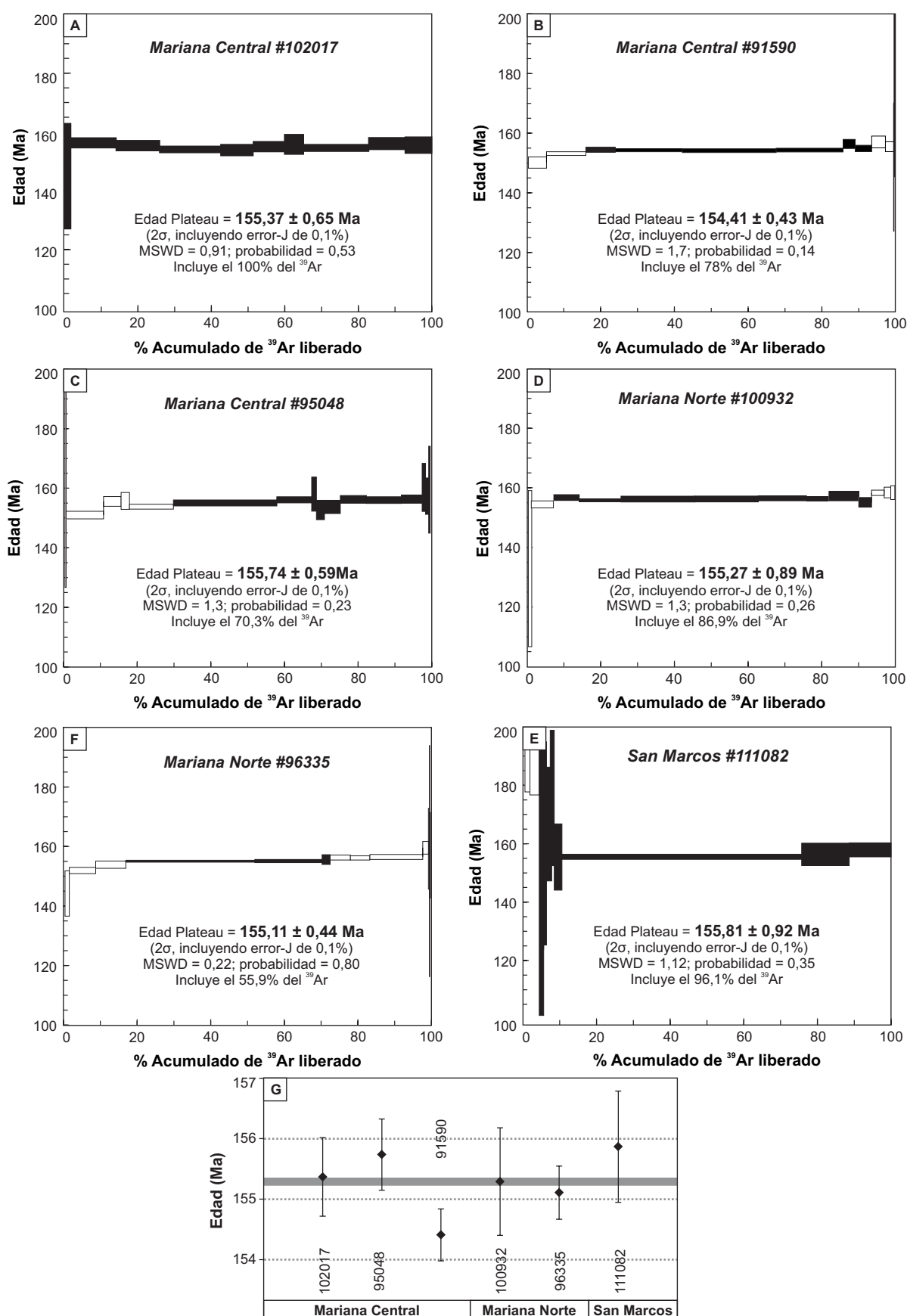
Tres muestras corresponden a Mariana Central. La muestra 102017 se trata de un bandeado crustiforme-coloforme del pulso 1, caracterizado por finas a gruesas bandas de cuarzo y adularia con arcillas y sulfuros intercrecidos (Fig. 4.25A). La muestra se ubica en la parte centro-este de la veta a 175 metros por debajo de la superficie. Los resultados revelan una edad plateau  $155,37 \pm 0,65$  Ma (Fig. 4.26A). Las muestras 91590 y 95048 son de brechas hidrotermales del pulso 3 con fragmentos de bandeado de cuarzo-adularia del pulso 1, ubicadas en el centro-este de la veta a unos 175 a 200 metros de profundidad (Fig. 4.25 B, C). La edad plateau obtenida es de  $154,41 \pm 0,43$  Ma y de  $155,74 \pm 0,59$  Ma respectivamente, con una pequeña cantidad de pérdida de argón radiogénico del orden de 5-10% (Fig. 4.26 B, C).

Las muestras 100932 y 96335 corresponden a bandas de adularias gruesas en contacto con la roca de caja en la veta Mariana Norte (Fig. 4.25 D, E). Estas fueron tomadas en los extremos oeste y este respectivamente a profundidades de 150 a 175 metros. Las mismas arrojaron una edad plateau de  $155,27 \pm 0,89$  Ma y  $155,11 \pm 0,44$  M, respectivamente (Fig. 4.26 D, E). La muestra 96335 registra una leve pérdida de argón radiogénico.

Finalmente la muestra 111082 fue tomada del pulso 2 de San Marcos a una profundidad de ~200 metros. Está caracterizada por un bandeado coloforme-crustiforme fino de cuarzo blanco y adularia con arcillas intercrecidas (Fig. 4.25F). Esta muestra registra un



**Figura 4.25:** Muestras seleccionadas para dataciones  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  en adularia del sistema Marianas-San Marcos con la posición donde fue extraída la adularia (círculo). **A)** bandeado crustiforme-coloforme con finas bandas de adularia, pulso 1, Mariana Central. **B-C)** Clastos con texturas bandeadas de cuarzo, adularia en brecha hidrotermal del pulso 3, Mariana Central. **D-E)** Vetillas de adularia masiva en contacto con la roca de caja, pulso 1, Mariana Norte. **F)** Bandeado coloforme-crustiforme con finas bandas de adularia, pulso 2, San Marcos.



**Figura 4.26:** A-F) Diagramas de tipo *step wise heating*  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  con las edades para las muestras del sistema Marianas-San Marcos. G) Resumen de los resultados obtenidos para las distintas vetas dentro del sistema. La línea gris indica el promedio de 155,3 Ma para todas las muestras.



extraño exceso de argón sin embargo la edad plateau registrada es de  $155,87 \pm 0,92$  Ma (Fig. 4.26F).

En su conjunto todas las edades obtenidas son consistentes con una edad plateau promedio de 155,3 Ma lo que permite ubicar a la mineralización en el Jurásico Superior dentro del piso Oxfordiano (Fig. 4.26G).

## **4.8. Discusiones**

### **4.8.1. Clasificación del sistema Marianas-San Marcos**

El sistema Marianas-San Marcos se clasificaría como un sistema epitermal somero con características de baja sulfuración (Sillitoe, 1989 & 1993; White & Hedenquist, 1995; Hedenquist et al., 2000; Einaudi et al., 2003; Sillitoe & Hedenquist, 2003; Simmons, 2005).

Las principales características que permiten esta clasificación se enumeran a continuación:

- 1) El sistema está compuesto por vetas alojadas en un graben de rumbo NO a lo largo de 4 km, donde sus principales estructuras principales y secundarias son de rumbo NO y E-O. Estas estructuras tienen una fuerte inclinación (entre 60° y 90°) con longitudes que alcanzan 1 kilómetro. Dos de sus mayores estructuras se hayan cubiertas por depósitos de brecha de erupción hidrotermal con depósitos volcanoclásticos intercalados.
- 2) Se han identificado 10 pulsos mineralizantes agrupados en 4 episodios principales. Las texturas predominantes corresponden a bandeados crustiformes-coloformes de cuarzo, presencia de adularia, esmectitas, reemplazos de carbonatos y de minerales fibro-radiados, y localmente brechas de cuarzo. El principal episodio mineralizante, E1, se encuentra frecuentemente restringido y rodeado de los sucesivos episodios.
- 3) La geometría de los clavos refleja la naturaleza de las fallas con morfologías subhorizontales para las fallas lítricas extensionales de rumbo NO, donde los mayores espesores se registran en las partes más inclinadas de la falla (Mariana Central), clavos subverticales para zonas de transferencia extensivas de rumbo E-O (San Marcos), y clavos irregulares para vetas alojadas con componente de rumbo ONO (Mariana Norte). La signatura geoquímica de las vetas refleja contenidos elevados de Au-Ag con relaciones de Ag:Au cercanas a 10:1, acompañados de hasta un 3% de metales base, As, Sb, Se, Hg y Tl.

- 4) Los pulsos de alta ley tienen como minerales de mena principales a electrum y acantita seguidos de sulfosales de plata, esfalerita, calcopirita, pirita y galena. Estos se alojan en bandas restringidas denominadas bandas *ginguro*, intercrecidas con cuarzo, y minerales del grupo de las arcillas.
- 5) La alteración hidrotermal se encuentra restringida formando un halo alrededor de las mineralizaciones desde el exterior hacia la parte proximal caracterizadas por las asociaciones clorita + illita  $\pm$  calcita  $\pm$  epidoto; esmectita – illita e illita – esmectitas  $\pm$  clorita con adularia. Por su parte, el depósito de brecha de erupción hidrotermal que cubre Mariana Central y Mariana Norte presenta un patrón de alteración ácida (argílica avanzada tipo *steam-heated*) compuesto por esmectitas  $\pm$  clorita con niveles de caolinita de alta cristalinidad, ópalo, pirita, y trazas de dickita y alunita. De manera tardía y con poco desarrollo, se reconoce una asociación supergénica compuesta por caolinita de baja cristalinidad, esmectitas y óxidos de Fe.
- 6) Los fluidos mineralizantes arrojan temperaturas de 221 a 302,5°C y salinidades de hasta 3% NaCl eq., correspondientes al sistema H<sub>2</sub>O-NaCl-(KCl) dominado por aguas meteóricas con evidencias de ebullición.

#### **4.8.2. Origen, evolución y naturaleza de los fluidos hidrotermales**

Los sistemas geotermales activos son análogos al ambiente formacional de los depósitos epitermales. Numerosos autores han estudiado estos sistemas como por ejemplo en la zona del Taupo en Nueva Zelanda (e.g.; Henley & Ellis, 1985b; Hedenquist, 1990; Simmons & Browne, 2000). En estos sistemas la circulación convectiva de aguas meteóricas es generada por intrusiones magmáticas en profundidad (Rowland & Simmons, 2012).

Las aguas que circulan dentro de las celdas hidrotermales se dividen en función del anión dominante. Las aguas cloruradas (anión principal es el Cl<sup>-</sup>) son reducidas, tienen pH neutro y contienen hasta un 3% de CO<sub>2</sub> y hasta cientos de ppm de H<sub>2</sub>S. Este último es un importante agente ligante para el transporte del Au y Ag como complejos bisulfurados (Seward & Barnes, 1997). En estas aguas se encuentran en equilibrio cuarzo, albita, adularia, illita, clorita, pirita, calcita y epidoto, como minerales secundarios de alteración. El fluido alcanza el equilibrio en un ambiente dominado por la roca para formar una alteración propilítica. Cuando estas aguas alcanzan la ebullición a unos 1-2 km de profundidad del nivel freático (presión y temperatura hidrostática) en el centro de la columna ascendente se deposita cuarzo, adularia, y platycalcita en fracturas y canales subverticales. Dependiendo de la paleotopografía estas aguas pueden alcanzar la superficie y depositar sinters silíceos.

para los depósitos de Waitekauri en Hauraki Goldfield (Nueva Zelanda). Estos autores indican que durante el proceso de ebullición precipita platycalcita en el punto de ebullición liberando  $\text{CO}_2$  a la fase vapor, y en consecuencia el fluido se hace menos rico en este gas favoreciendo la precipitación de ceolitas. Por lo tanto, la presencia de ceolitas y de platycalcita es excluyente y refleja fluctuaciones en los contenidos de  $\text{CO}_2$ .

Como consecuencia de procesos de ebullición los gases disueltos ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ) se separan del líquido y ascienden a la superficie. Estos gases se condensan al alcanzar aguas superficiales frías para formar dos tipos de aguas calentadas por fase vapor (*steam heated waters*), por un lado las aguas bicarbonatadas por debajo del nivel freático y las aguas sulfatadas por encima. Las aguas bicarbonatadas se encuentran en equilibrio con minerales de alteración como son las arcillas (illita, illita-esmectita, esmectita, caolinita), calcita y siderita a temperaturas de hasta  $150^\circ\text{C}$ . Las aguas sulfatadas alcanzan los  $100^\circ\text{C}$  y se forman en la zona vadosa donde el  $\text{H}_2\text{S}$  se oxida a  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , con pH ácidos (2) y producen una alteración argílica avanzada dominada por ópalo, alunita, caolinita y pirita.

La distribución de los distintos tipos de aguas depende de la topografía y los gradientes hidráulicos. En zonas de bajo relieve (calderas, coladas dómicas y *rifts*), las aguas calentadas por fase vapor (*steam-heated waters*) tienen lugar por encima y alrededor de la pluma de aguas cloruradas, mientras que en zonas de alto relieve (e.g., volcanes andesíticos-dacíticos), estas aguas pueden extenderse hasta los flancos del edificio volcánico (Simmons et al., 2005).

Dentro del sistema Marianas-San Marcos es posible reconocer el accionar de los distintos tipos de aguas mencionados previamente. La secuencia paragenética indica que el sistema se desarrolló en 3 etapas principales, una primera etapa hidrotermal representada en los episodios E1 a E3 y una segunda etapa con una componente tectónica evidenciada en el episodio 4 (E4). Finalmente algunas modificaciones supergénicas restringidas tuvieron lugar a lo largo de la formación del depósito.

El primer episodio (E1) aporta las mayores leyes de metales preciosos al sistema. Se inicia con bandas y vetillas de adularia gruesa tabular a subrómica y cuarzo. Posteriormente, predominan los bandeados crustiformes-coloformes compuestos por cuarzo con texturas de recristalización de sílice amorfa y/o calcedonia, adularia (tabular/subrómica, rómica, acicular), esmectitas, sulfuros y sulfosales, con texturas de reemplazos de minerales fibro-radiados y en menor medida de carbonato. Dong et al. (1995), interpretan que la adularia pseudoacicular corresponde a una textura de reemplazo de carbonatos.

Las arcillas se presentan en los bandeados como también de manera tardía brechando junto con cuarzo. La presencia de esmectitas en los bandeados son comunes para el depósito epitermal Hishikari en Japón, donde Faure et al., (2002) interpreta para dicho depósito que las esmectitas euhedrales han precipitado directamente del fluido hidrotermal, mientras que las arcillas que cortan a los bandeados son producto de la alteración de la adularia, formadas tardíamente.

De manera restringida se registran brechas que se podrían haber generado por procesos de fracturamiento crítico que dan origen a rotación de fragmentos (brechas en mosaico), a una abundante matriz y a rellenos masivos. Jébrak (1997) indica que cuando la presión del fluido descende en respuesta a una apertura brusca, generalmente por incremento de la permeabilidad después de un proceso fracturamiento hidráulico, provoca la inestabilidad de las paredes de la veta (fragmentos tabulares de bandeados), frecuentemente con rotación de fragmentos y rellenos masivos. Ejemplos de este proceso son las brechas de implosión en *jogs* dilatacionales, o en la intersección de dos fallas en crecimiento (Sibson, 1986; Micklethwaite, 2008).

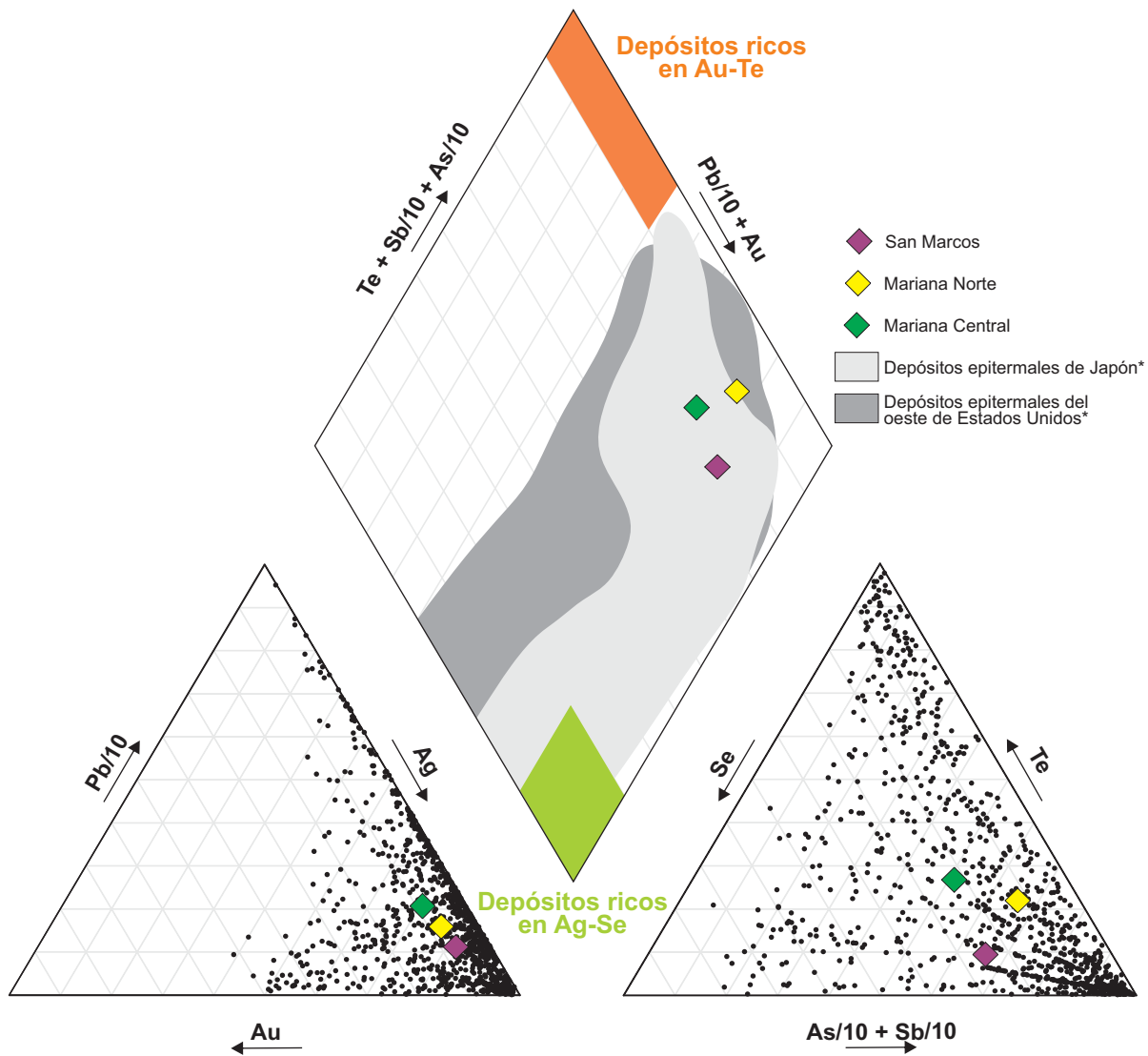
Los minerales de mena se encuentran asociados a finas bandas oscuras donde están intercrecidos con cuarzo y esmectitas. El oro se encuentra en forma de electrum como inclusión mecánica dentro de la pirita, como también asociado a sulfosales de plata (polibasita-pearceíta, tetraedrita y acantita) con valores promedio de 60% en peso. Además, en este episodio se distingue la presencia de selenio asociado a los minerales de plata (Permuy Vidal et al., 2013b). La presencia de selenio en depósitos epitermales de alta ley de oro y plata es relativamente frecuente, como es el caso de los depósitos Sleeper y Midas en EEUU; Hishikari en Japón; Guanajuato en México y Great Barrier Island y Broken Hills en Nueva Zelanda (Simon et al., 1997; Cocker et al., 2013). En estos depósitos el selenio se puede encontrar en dos tipos de mineralogías, por una parte conformando seleniuros de oro y plata (ej: naumanita y aguilarita), o bien incorporado dentro de las sulfosales de plata (tetraedrita, polibasita, etc.); estas dos paragénesis son mutuamente excluyentes y sus controles no están del todo estudiados (Cocker et al., 2013). John et al. (2001) en sus estudios en la zona de *Northern Great Basin* (oeste de EEUU) revela que en líneas generales se observa que los seleniuros de plata se encuentran en depósitos asociados a un vulcanismo bimodal con composiciones andesíticas - riolíticas, mientras que la presencia de selenio incorporado en las sulfosales de plata se relacionaría a depósitos vinculados a un vulcanismo de tipo andesítico. Para esta misma zona, Saunders et al. (2008) comparan los depósitos con otros depósitos con selenio, construyen un diagrama denominado *epithermal trilinear*

*diagram* adaptado del diagrama hidrogeoquímico de Piper (Drever, 1997). Saunders et al. (2008) definen en un extremo los depósitos con mayores contenidos de Au-Te y en el otro extremo depósitos con altos tenores de Ag-Se (Fig. 4.27). Las muestras del sistema Marianas-San Marcos caen en posiciones intermedias al igual que varios depósitos epitermales de baja sulfuración (Unger, 2008; Fig. 4.27).

El episodio E1 culmina con vetillas estériles y tardías de adularia, albita, cuarzo y calcita. Durante este evento predominaron las aguas cloruradas ascendentes dominadas por procesos de ebullición favoreciendo la precipitación de los metales. Hacia etapas finales probablemente una pausa en la actividad hidrotermal y/o un descenso del paleo nivel freático post-ebullición permitió que aguas bicarbonatadas percolen precipitando arcillas tardías. Los análisis de isótopos estables de oxígeno y azufre ( $\delta^{18}\text{O}$  y  $\delta^{34}\text{S}$ ) realizados sobre las adularias y arcillas en etapas tempranas del episodio 1 sugieren una fuente relativamente homogénea para los fluidos hidrotermales que dieron origen a la mineralización. De esta manera los isótopos de oxígeno ( $\delta^{18}\text{O}$  entre -2,75 y -8,14‰) indican una importante componente de origen meteórico en los fluidos, aunque con un pequeño aporte de aguas magmáticas. En tanto que los isótopos de azufre ( $\delta^{34}\text{S}$  entre 1,42 y -2,08 ‰) sugieren una fuente magmática para este fluido, aunque no puede descartarse un reequilibramiento de las soluciones hidrotermales con la secuencia volcánica Jurásica durante el funcionamiento de las celdas hidrotermales. Por otro lado, los resultados obtenidos para las arcillas tardías dentro del episodio 1 y las calcitas del pulso 9, registran valores que se aproximan a las aguas meteóricas reflejando condiciones de desequilibrio isotópico por el accionar de aguas calentadas por fase vapor (e.g. Cole, 1994; Faure et al., 2002).

En el segundo episodio (E2) los contenidos de metales preciosos disminuyen relativamente respecto de E1. Este episodio se inicia con rellenos masivos de cuarzo con texturas de reemplazo de calcita, seguido de brechas hidrotermales con clastos de bandeo y finalmente se desarrolla una red de vetillas de calcedonia hasta amatista que afectan a la estructura principal como a la roca de caja. Durante este evento probablemente el nivel de ebullición haya descendido, depositándose cuarzo con texturas de reemplazo que indican ebullición (pulso 5). El pulso 6 por su parte es el pulso de mayor brechamiento del sistema; como consecuencia del cierre de la fractura donde se aloja la mineralización, el fluido entra en sobrepresión generando brechas con clastos de bandeo. Posteriormente, el sistema vuelve a retrotraerse durante el pulso 7 depositando vetillas de cuarzo y amatista con un gran desarrollo areal. Ejemplos de este tipo de vetillas se describen en el depósito de Waihi en





**Figura 4.27:** Diagrama trilinear “*epithermal trilinear diagram*” modificado de Saunders et al. (2008) y \*Unger (2008) con la ubicación de las muestras correspondiente al sistema Marianas-San Marcos y sus valores promedios. Nota: para la construcción se utilizaron los valores de fracción molar de Au, Ag, y Pb/10 (triángulo de los metales) y de Se, Te y Sb/10 + As/10 (triángulo de los metaloides) recalculados al 100%.

Nueva Zelanda producto del descenso de aguas superficiales en etapas hidrotermales póstumas (Brathwaite & Faure, 2002).

El último episodio con características hidrotermales (E3) registra el colapso del sistema hidrotermal y la percolación de aguas superficiales. En su inicio este episodio está representado por vetillas y rellenos bandeados de cuarzo con hematita y cantidades variables de piritita. La presencia de hematita sugiere un cambio en el estado de oxidación de las aguas cloruradas, probablemente como resultado de la mezcla de aguas cloruradas con aguas oxigenadas superficiales (Simpson & Mauk, 2011). Finalmente, el pulso 9 tiene un amplio desarrollo y está caracterizado por brechas, vetillas y rellenos de calcita y cuarzo en menor medida. En el depósito Golden Cross (Nueva Zelanda), vetas, vetillas y brechas póstumas de calcita cristalina masiva se formaron como producto del descenso de aguas bicarbonatadas durante la disminución de la actividad hidrotermal (Simmons & Browne, 2000). Así, los fluidos que dieron origen a las calcitas tardías en el sistema presentan una composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  más ligera respecto a los calculados para el pulso 1 en adularia y arcillas (-3 a 0 ‰) y más próxima a la de las arcillas tardías (-8 a -9 ‰) y las aguas meteóricas. Simmons et al. (2005) demuestran por analogía con sistemas geotermales actuales (Ohaaki-Broadlands en Nueva Zelanda) que la calcita tardía se habría formado por el descenso de aguas calentadas por fase vapor, ricas en  $\text{CO}_2$ , donde la composición isotópica de  $\delta^{18}\text{O}$  es hasta 2,5 ‰ más ligera que las vetas de cuarzo con Au-Ag.

Las edades  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  obtenidas en adularia indican que el pico de actividad hidrotermal tuvo una duración de aproximadamente 1,5 Ma con una edad promedio de 155 Ma. Si solo se toman en cuenta las muestras del episodio mineralizante principal (E1) las edades arrojan valores de 760.000 años. La duración de los sistemas geotermales es de 10.000 a 100.000 años aproximadamente (Hedenquist, 1986). Sin embargo, es común que los sistemas epitermales estén activos por cientos de miles de años, con pulsos separados por decenas a cien mil años (Arancibia et al., 2006; Sanemasu et al., 2006; Wallier, 2009; Warren, 2005; Sekine et al., 2002). Estos resultados indican que el principal evento mineralizante ocurrió en etapas tardías de vulcanismo andesítico-dacítico datado entre 159 y 156 Ma por López (2006). Además, esta edad es coincidente con los resultados obtenidos para las mineralizaciones del Macizo del Deseado (Echavarría et al., 2005; Fernández et al., 2008; Dietrich et al., 2005; Wallier, 2009; Páez, 2012), donde las principales mineralizaciones ocurren en posterioridad al pico del vulcanismo (Guido et al., 2012).

De manera tardía, el episodio E4 de naturaleza hidrotermal-tectónica, se genera durante una reactivación tectónica menor, restringida a las estructuras Mariana Norte, San

De manera tardía, el episodio E4 de naturaleza hidrotermal-tectónica, se genera durante una reactivación tectónica menor, restringida a las estructuras Mariana Norte, San Marcos y San Marcos Sur. Este episodio está caracterizado por cuerpos de brecha de falla y cataclásitas de cuarzo (calcedonia con hematita), arcillas, sulfuros y sulfosales, que por sectores arrojan valores elevados de plata. Páez et al. (2011) describen este tipo de episodio para el depósito Mina Martha, y considera que la naturaleza cohesiva de este tipo de brechas y cataclasitas se debe a la precipitación de minerales a partir de la circulación de fluidos en forma sincrónica con la deformación. Estas brechas contienen clastos angulosos de la mineralización previa, bandas con concentración de sulfuros (asociadas a episodios de alta ley), y granos de sulfuros (pirita) deformados cataclásticamente. La presencia de jarosita, apatita, titanita y hematita indica la participación de aguas oxidadas. Los minerales de mena rellenan cavidades y/o conforman vetillas y corresponden a pirargirita y tetraedrita (freibergita) acompañados de pirita. Los contenidos relativamente mayores de Ag en las sulfosales respecto del E1, permiten sugerir una removilización de este elemento. Si bien la edad de este último evento no ha sido posible de determinar por falta de minerales adecuados para determinaciones geocronológicas, se podría suponer la edad Jurásica Superior a Cretácica Inferior propuesta por Páez (2012) dado que las edades del evento mineralizante principal para Mina Martha y Cerro Negro pueden ser correlacionables (~155Ma).

#### **4.8.3. Distribución de las alteraciones hidrotermales**

La distribución de las alteraciones hidrotermales refleja el comportamiento de las distintas aguas que tuvieron lugar durante la evolución del depósito. Así se distinguen distintas asociaciones de minerales de alteración rodeando la mineralización principal.

En contacto con las vetas se distingue la asociación *illita* – *esmeclitas*  $\pm$  *clorita*  $\pm$  *adularia*  $\pm$  *cuarcita*  $\pm$  *pirita* reflejando un aumento brusco en la permeabilidad, asociado al conducto principal. Dado la baja permeabilidad de las andesitas, el halo está restringido a decenas de metros. De esta manera, la mineralogía reconocida en esta zona de alteración estaría vinculada a zonas de alta permeabilidad dentro del sistema evidenciado por el leve incremento de la cristalinidad de la *illita* hacia el conducto y la presencia de *adularia*. En sistemas geotermales activos, esta asociación estaría relacionada a la circulación de fluidos neutros a levemente alcalinos con temperaturas superiores los 250°C (Simmons & Browne, 2000). Estas temperaturas concuerdan con las temperaturas obtenidas en las inclusiones fluidas para el principal episodio mineralizante. En niveles someros y distales del sistema la abundancia de arcillas aumenta a medida que aumenta la distancia del conducto. La

asociación *esmetita* – *illita* es típica de los sistemas geotermales activos (Simmons & Browne, 2000), y es indicativa de temperaturas de formación inferiores a los 180°C, producto de la interacción de aguas calentadas por fase vapor ricas en CO<sub>2</sub> que generan el tipo de alteración argílica (esmetita, illita, caolinita, calcita, siderita y cuarzo).

En la parte más distal y profunda del sistema prevalece la asociación *clorita* + *illita* ± *calcita* ± *epidoto* con una extensión de hasta cientos de metros, afectando principalmente a las Andesitas Inferiores y conservando las texturas originales de la roca. Esta asociación corresponde al tipo de alteración propilítica, desarrollada en zonas profundas donde el fluido se encuentra en equilibrio con la roca de caja a temperaturas >250°C (presencia de epidoto).

La asociación *esmetita* ± *clorita* acompañada de vetillas de yeso, se desarrollada sobre los depósitos de brecha de erupción hidrotermal en Mariana Central y Norte, revelan el predominio de aguas calentadas por fase vapor ricas en CO<sub>2</sub>. Además se registra un nivel de alteración ácida caracterizado por la presencia de caolinita, acompañada de pirita diseminada ópalo, y trazas de dickita y alunita que se correlaciona con un asomo de rocas silicificadas de textura oquerosa; que se desarrolla cercano al paleo nivel freático por el accionar de aguas calentadas por fase vapor de carácter ácido.

De manera tardía, local y restringida se reconoce una asociación supergénica afectando a la mineralización y alteraciones primarias caracterizadas por la presencia de caolinita (baja cristalinidad) ± esmetitas, vetillas de óxidos e hidróxidos de hierro, jarosita y trazas de alunita (San Marcos). La oxidación de sulfuros en la zona vadosa generan fluidos ácidos capaces de percolar por las fracturas y formar caolinita a expensas de adularia e illita (e.g Sillitoe & Hedenquist, 2003; Sillitoe, 2005)

#### **4.8.4. Evidencias de los mecanismos de depositación de los metales**

En el sistema Marianas-San Marcos la asociación de minerales hidrotermales indican condiciones neutras y reducidas para los fluidos, comparable con sistemas geotermales activos como en la zona de Taupo en Nueva Zelanda (e.g. Henley & Ellis, 1983; Hedenquist & Henley, 1985b; Brown, 1986; Hedenquist, 19901; Simmons & Browne, 2000; Simmons et al., 2005). Estas características y las bajas salinidades obtenidas sugieren que el Au y la Ag han sido transportados como complejos bisulfurados. Las mayores concentraciones de Au disuelto en fluidos epitermales ocurren bajo estas condiciones (Cooke & Simmons, 2000). En estos casos, la ebullición es el principal mecanismo de depositación de los metales preciosos (e.g. Buchanan, 1981; Brown, 1986; Seward, 1989; Cooke & Simmons, 2000; Stefánsson & Seward, 2004; Simmons et al., 2005). Como resultado, la separación de la fase vapor

En las vetas estudiadas numerosas evidencias indican condiciones de ebullición del fluido como la presencia de adularia, platycalcita y bandeados coloformes asociados a los elevados tenores de Au-Ag (Simmons et al., 2005). Además como evidencias indirectas, la presencia de brechas de erupción hidrotermal, y las vetas y vetillas de calcita tardía producto del descenso de aguas bicarbonatadas originadas por la condensación de vapores en superficie. En su trabajo, Moncada et al. (2012) reconocen texturas que indican ebullición como son cuarzo en mosaico, plumoso, flamboyante, *ghost sphere*, musgosa, coloforme, crustiforme, calcita hojosa (y reemplazada), cuarzo acicular (texturas de reemplazo). Todas estas texturas se encuentran en los pulsos mineralizante de alta ley (pulsos 1, 2 y 3) del sistema Marianas-San Marcos, indicando ebullición del fluido. Además, como texturas de no ebullición estos autores describen calcita rómbica, cuarzo en peine y/o zonal, cuarzo masivo y texturas en cucarda. Estas texturas se reconocen principalmente en los episodios 2 y 3 de baja ley en las vetas Marianas y San Marcos.

El estudio de las inclusiones fluidas en adularia, cuarzo y calcita indican que los fluidos mineralizantes alcanzaron temperaturas de entre 220 a 300°C y salinidades bajas <2% NaCl eq. durante la precipitación del principal evento mineralizante de Au-Ag. Hedenquist & Henley (1985a) demostraron que la presencia de pequeñas cantidades de CO<sub>2</sub> aumenta la presión del fluido incrementando el rango de ebullición hasta cientos de metros. En el sistema Marianas-San Marcos no se ha detectado la presencia de CO<sub>2</sub> en las inclusiones fluidas por lo que el contenido en el fluido es inferior al 3,7 % en peso. La coexistencia de inclusiones líquidas y ricas en vapor indica que hubo ebullición durante el entrapamiento.

En el caso de que el sistema esté conformado por una red fracturas interconectadas abiertas a la superficie (gradiente hidrostático), una vez que comienza la ebullición, el fluido continúa en este estado durante todo el trayecto hasta la superficie (Cline et al., 1992; Fournier, 1985; Henley & Brown, 1985; Vikre et al, 1988). Como resultado, las inclusiones atrapadas en el nivel de ebullición serán líquidas y de vapor coexistiendo con temperaturas de homogenización <300°C cerca de la base hasta 220° C hacia el tope. Por debajo del nivel de ebullición las inclusiones serían solo líquidas con relaciones liquido-vapor equivalentes. Generalmente los sistemas son dinámicos, por lo que el nivel de ebullición puede variar, encontrándose familias de inclusiones que indican ebullición y otras que no durante el desarrollo del sistema.

Moncada et al. (2012) describe diferentes intensidades de ebullición que pueden variar en función de las características de presión, temperatura y composición (PTX) a través del tiempo y en el espacio. Estos autores proponen dos escenarios, por un lado si una porción

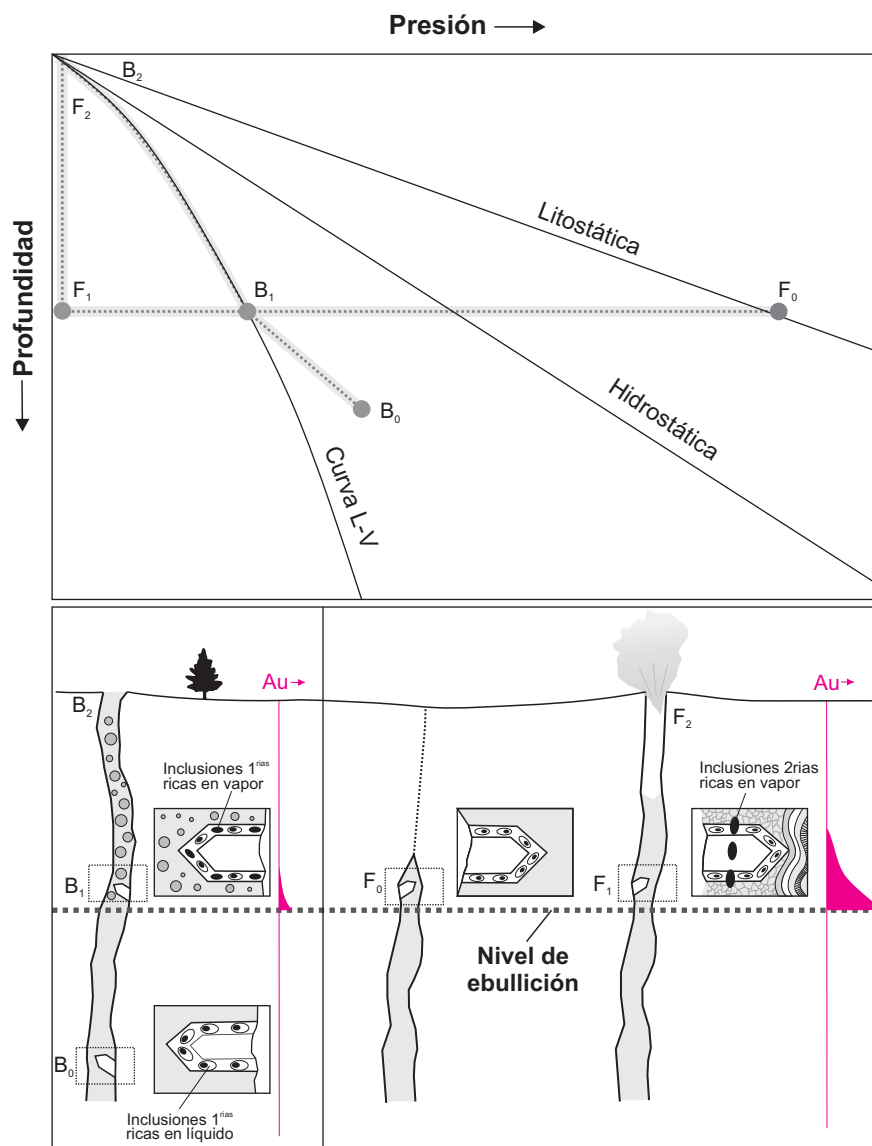


pequeña del líquido original es convertido en vapor durante la ebullición (*gentle boiling*) y otra en el que 100% del fluido es convertido en vapor (*flashing*) (Fig. 4.28). La cantidad de líquido a vaporizar depende de condiciones P-T del sistema y de la habilidad del fluido de extraer el exceso de calor de las rocas hospedantes (Henley & Hughes, 2000). En sistemas hidrotermales abiertos a la superficie la presión del fluido es controlada por la columna de fluido por encima, el fluido sube e intersecta la línea líquido-vapor (Fig. 4.28, B<sub>0</sub>-B<sub>1</sub>) y comienza la ebullición (*gentle boiling*), luego mantiene su trayectoria a través de la línea hasta la superficie (Fig. 4.28, B<sub>1</sub>-B<sub>2</sub>). En estos casos se generan cantidades de vapor bajas. En sistemas y/o períodos de *gentle boiling* se deposita cuarzo euhedral y/o masivo y/o calcita por debajo del nivel de ebullición por enfriamiento, atrapando inclusiones ricas en líquido con relaciones líquido-vapor constantes (Fig. 4.28). Por encima del nivel de ebullición precipita cuarzo grueso con inclusiones ricas en líquido coexistiendo con inclusiones ricas en vapor. Dependiendo de la intensidad de la ebullición puede precipitar calcedonia y/o cuarzo con texturas plumosas en este sector. Los metales se depositarán en el nivel de ebullición o por encima del mismo.

En el otro extremo, en sistemas donde las fracturas están poco conectadas y/o cementadas, la presión del fluido excede la presión hidrostática aproximándose a la presión litostática (Fig. 4.28, F<sub>0</sub>). Durante este período precipita cuarzo masivo o euhedral con inclusiones ricas en líquido y con relaciones líquido-vapor constantes. Si por algún mecanismo (e.g. sismos, intrusiones magmáticas, erupción hidrotermal), se libera la presión hasta al menos la presión hidrostática, de manera instantánea (Fig. 4.28, F<sub>0</sub>), el 100% del fluido se convierte en vapor (proceso denominado *flashing*), precipitando sílice amorfa con texturas coloformes e inclusiones secundarias ricas en vapor en cristales de cuarzo previamente formados.

Por debajo del nivel de ebullición muchos sistemas registran valores anómalos de metales base, mientras que por encima predominan los metales preciosos. En sistemas donde ocurre *flashing* los clavos de alta ley (bonanza) se restringen a la base del nivel de ebullición terminando de manera abrupta (decenas a cientos de metros), mientras que en sistema donde ocurre *gentle boiling* los clavos mineralizados son de menor tenor y de mayores dimensiones donde los contenidos de metales decrecen gradualmente (e.g. Albinson et al., 2001).

En cuanto a la intensidad de la ebullición, en el sistema Marianas-San Marcos se reconocen evidencias de procesos de *flashing* asociados a los pulsos mineralizantes de alta ley, como son inclusiones secundarias ricas en vapor (sobre cuarzo y adularia) seguidas de sílice amorfa con texturas coloformes donde han precipitado los metales preciosos. Además



**Figura 4.28:** Diagrama esquemático Modificado de Moncada et al. (2012), mostrando la relación presión vs. profundidad (arriba) y los tipos de inclusiones, texturas y contenidos de oro para sistemas sufriendo los dos extremos de intensidades de ebullición (*gentle boiling* y *flashing*). Las curva hidroestática se refiere a la curva hidroestática fría de Henley et al. (1984) donde la densidad del fluido es de 1g/cm<sup>3</sup> en todos lados. La curva L-V representa las condiciones del fluido cuya densidad es igual a la densidad de la fase líquida en equilibrio con la fase vapor en función de la presión (y temperatura).

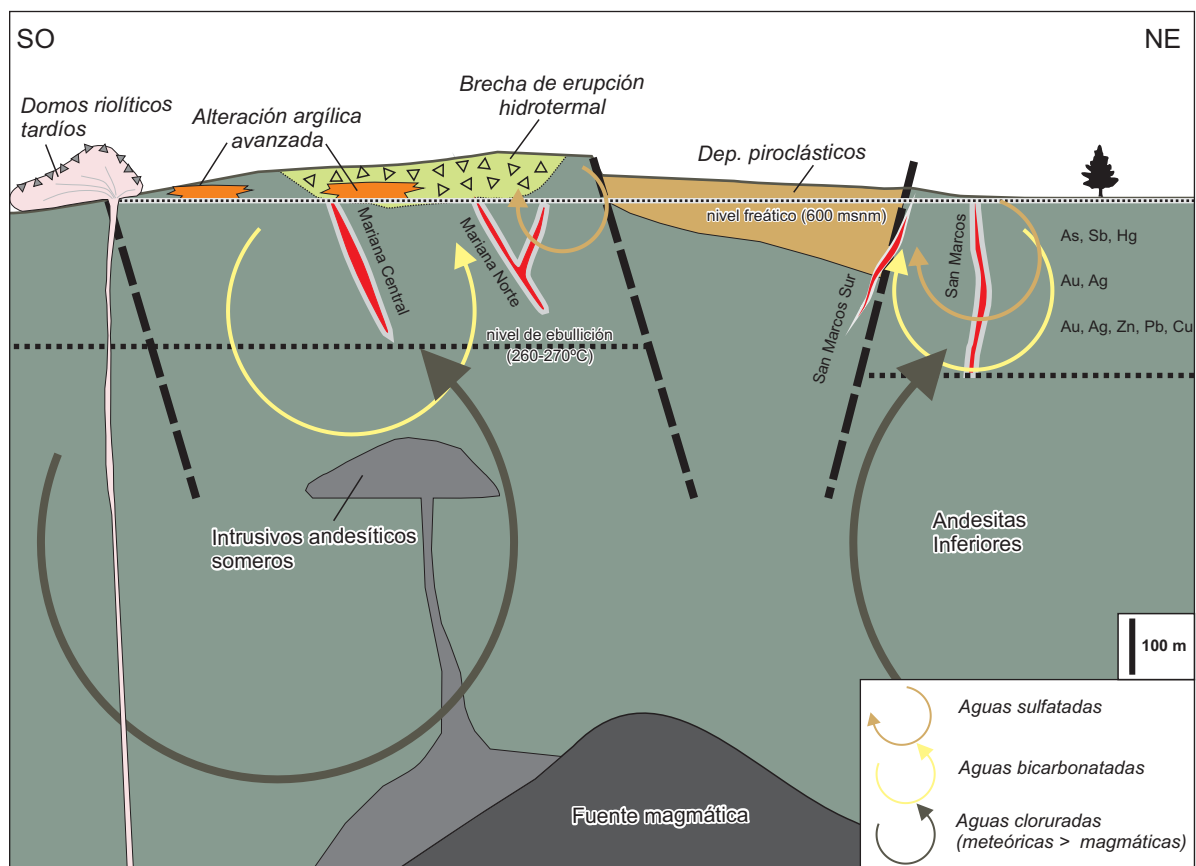
En cuanto a la intensidad de la ebullición, en el sistema Marianas-San Marcos se reconocen evidencias de procesos de *flashing* asociados a los pulsos mineralizantes de alta ley, como son inclusiones secundarias ricas en vapor (sobre cuarzo y adularia) seguidas de sílice amorfa con texturas coloformes donde han precipitado los metales preciosos. Además los contenidos de metales preciosos decrecen abruptamente en sus valores confirmando este proceso. De esta manera, el proceso de *flashing* podría haber ocasionado el retardo de la ebullición hasta niveles someros del sistema, y la precipitación de los metales preciosos. Estos procesos también fueron descriptos para ambientes geotermales activos como precursores de erupciones hidrotermales, por ejemplo para la zona del Taupo en Nueva Zelanda (Brown, 1986).

A su vez, Moncada et al. (2012) indican que durante períodos de no ebullición precipita illita en equilibrio con cuarzo euhedral (condiciones levemente ácidas), mientras que como consecuencia de la ebullición (*flashing*) y precipitación de sílice amorfa, el fluido se torna más ácido favoreciendo la precipitación del oro. En el sistema Marianas-San Marcos se han registrado inclusiones de illita en cuarzo euhedral y adularias correspondientes a etapas tempranas del episodio 1. Además, en sistemas geotermales actuales como Ohaaki-Broadlands con fluidos de salinidades bajas (<0.5 % NaCl eq.) con contenidos de Au de 1-2 ppb en condiciones de *flashing* entre los 270-290°C precipitan las mayores cantidades de Au (Seward, 1973, 1989; Brown, 1986; Simmons et al., 2005).

#### **4.9. Resumen y conclusiones**

Las principales características metalogénicas mencionadas en este capítulo se resumen en la figura 4.29. El sistema Marianas-San Marcos está conformado por vetas epitermales de Au-Ag tipo baja sulfuración comparables con Hishikari en Japón (Izawa et al., 1990), Round Mountain, Sleeper, McLaughlin y Midas en el oeste de EEUU (John, 2001), y Martha Hill - Favona en Nueva Zelanda (Simpson & Mauk, 2007). Este sistema de vetas puede clasificarse como un sistema epitermal de ebullición somera (o *hot spring type*) con evidencias de haberse formado a pocos metros de la paleosuperficie, producto de un retraso de la ebullición de los fluidos ascendentes en el sistema hidrotermal (Nelson & Giles, 1985; Saunders, 1996; Hedenquist et al. 2000; Corbett 2002; Simmons et al., 2005).

Las vetas se han formado a 155 Ma durante las últimas etapas del vulcanismo andesítico-dacítico (López, 2006). Los sistemas de vetas presentan mayormente texturas coloformes-crustiformes típicas de los sistemas epitermales de baja sulfuración. Se han



**Figura 4.29:** Diagrama esquemático mostrando las características principales del sistema Marianas-San Marcos.

minerales de alteración hidrotermal incluyen cuarzo, adularia, illita, esmectita y clorita. La distribución de alteraciones corresponde a un halo de mayor temperatura alrededor de las vetas. Cerca de la superficie, y asociado a depósitos de brechas de erupción hidrotermal, se identifica una alteración de tipo ácida indicando el paleo nivel freático que se forman a partir de aguas calentadas por fase vapor (*steam heated*) tardías en el sistema que percolaron durante episodios de pausa en el hidrotermalismo. Las inclusiones fluidas indican que el fluido mineralizante alcanzó temperaturas de entre 220-300°C y salinidades de entre 1-3% de NaCl eq. Los datos de isótopos estables establecen un origen meteórico para las aguas con aporte magmático para el principal evento mineralizante. Por otra parte, se registran evidencias de ebullición asociada a procesos de *flashing* en algunas de las texturas descriptas, en las inclusiones fluidas y en la presencia de brechas de erupción hidrotermal encima de las vetas Marianas. Las similitudes del sistema Marianas-San Marcos en cuanto a las principales características, origen y composición de los fluidos y las edades, reflejan que se trata de vetas co-genéticas agrupadas en un único sistema hidrotermal como el caso de las vetas Martha Hill y Favona en Nueva Zelanda (Simpson & Mauk, 2007).



## Capítulo 5:

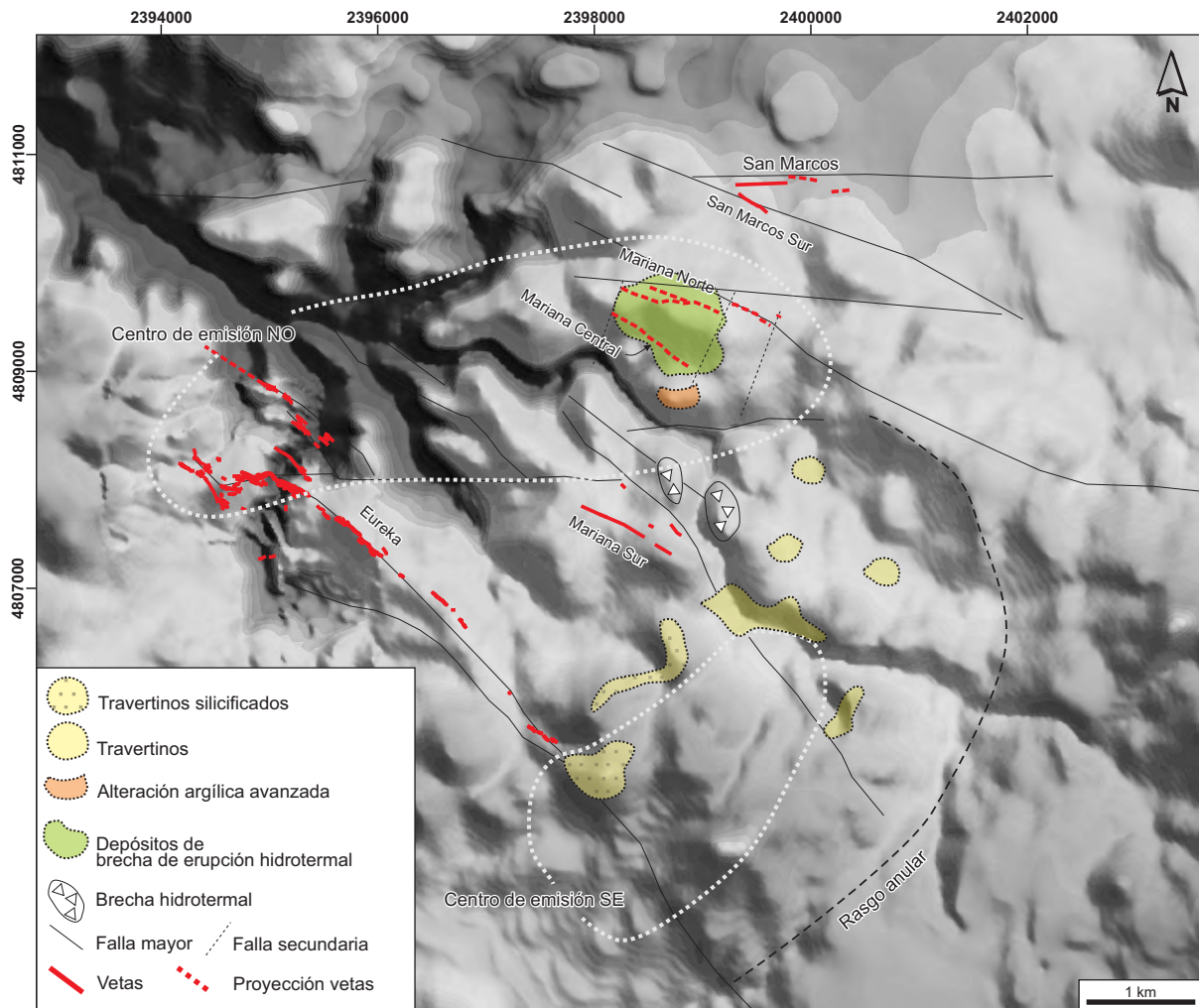
### **Características generales del ambiente epitermal somero del oeste del distrito Cerro Negro, Macizo del Deseado, Argentina.**

#### **5.1. Introducción**

En el extremo oeste del distrito Cerro Negro se distinguen extensas expresiones superficiales de la actividad hidrotermal jurásica como brechas de erupción hidrotermal, alteraciones ácidas asociadas a niveles someros, y depósitos vinculados a ambientes de tipo *hot spring* que se distribuyen en una extensa superficie de  $\sim 15 \text{ km}^2$  (Fig. 5.1).

Estos depósitos están vinculados espacialmente a dos centros volcánicos inferidos por Guido & Campbell (2012), un centro emisor NO conformado por lavas e intrusivos de composiciones intermedias de la Sección Inferior y un centro emisor SE compuesto por domos riolíticos de la Sección Superior. Los mismos están conectados por fallas regionales ocupadas por las vetas epitermales. Las mineralizaciones de Au-Ag en Eureka West y el sistema Marianas-San Marcos, se concentran hacia el centro emisor NO, y son interpretadas como las porciones más profundas estos sistemas hidrotermales (Fig. 5.1). De esta manera, y como fue discutido en los capítulos anteriores, la actividad hidrotermal del área de estudio habría sido controlada por la acción del vulcanismo como fuente de calor, y por las fracturas de alto ángulo que permitieron la focalización y el ascenso de los fluidos hidrotermales (Fig. 5.1).

En el área de estudio, depósitos de brechas de erupción hidrotermal cubren a las vetas Mariana Central y Mariana Norte, las cuales representan casi un 50% del total de los recursos indicados del distrito (Permuy Vidal et al., 2012). El término brecha de erupción hidrotermal fue acuñado por Lloyd (1959) y Hedenquist (1983) quienes las definen como el producto de erupciones generadas a partir de la liberación de la energía contenida en un reservorio geotermal. Posteriormente, Hedenquist (1986) y Browne & Lawless (2001) advierten que estas erupciones son el resultado de cambios de presión, pérdida de calor y cambios de fases que ocurren en los niveles someros ( $< 300 \text{ m}$ ) de los sistemas hidrotermales. Estos depósitos han sido comúnmente descriptos en ambientes geotermales activos, como en la zona del Taupo (Nueva Zelanda, Rowland & Simmons, 2012) y en Yellowstone (Estados Unidos, Christiansen et al., 2007).



**Figura 5.1:** Imagen de relieve sombreado (*hillshade*) con los principales rasgos del campo geotermal registrados en el oeste del distrito Cerro Negro. Ubicación de los centros de emisión propuestos por Guido & Campbell (2012) y ubicación de rasgo anular según López (2006).

Son numerosos los ejemplos que muestran la vinculación de este tipo de depósitos con mineralizaciones epitermales someras, como por ejemplo en caso de los depósitos Round Mountain, Borealis y Hasbrouck Mountain (Nevada) y McLaughlin (California) en Estados Unidos, Hishikari en Japón y Favona en Nueva Zelanda (Berger & Eimon, 1983; Henley & Ellis, 1983; Sillitoe et al., 1984; Nelson & Giles, 1985; Izawa et al. 1990; Simpson & Mauk, 2007).

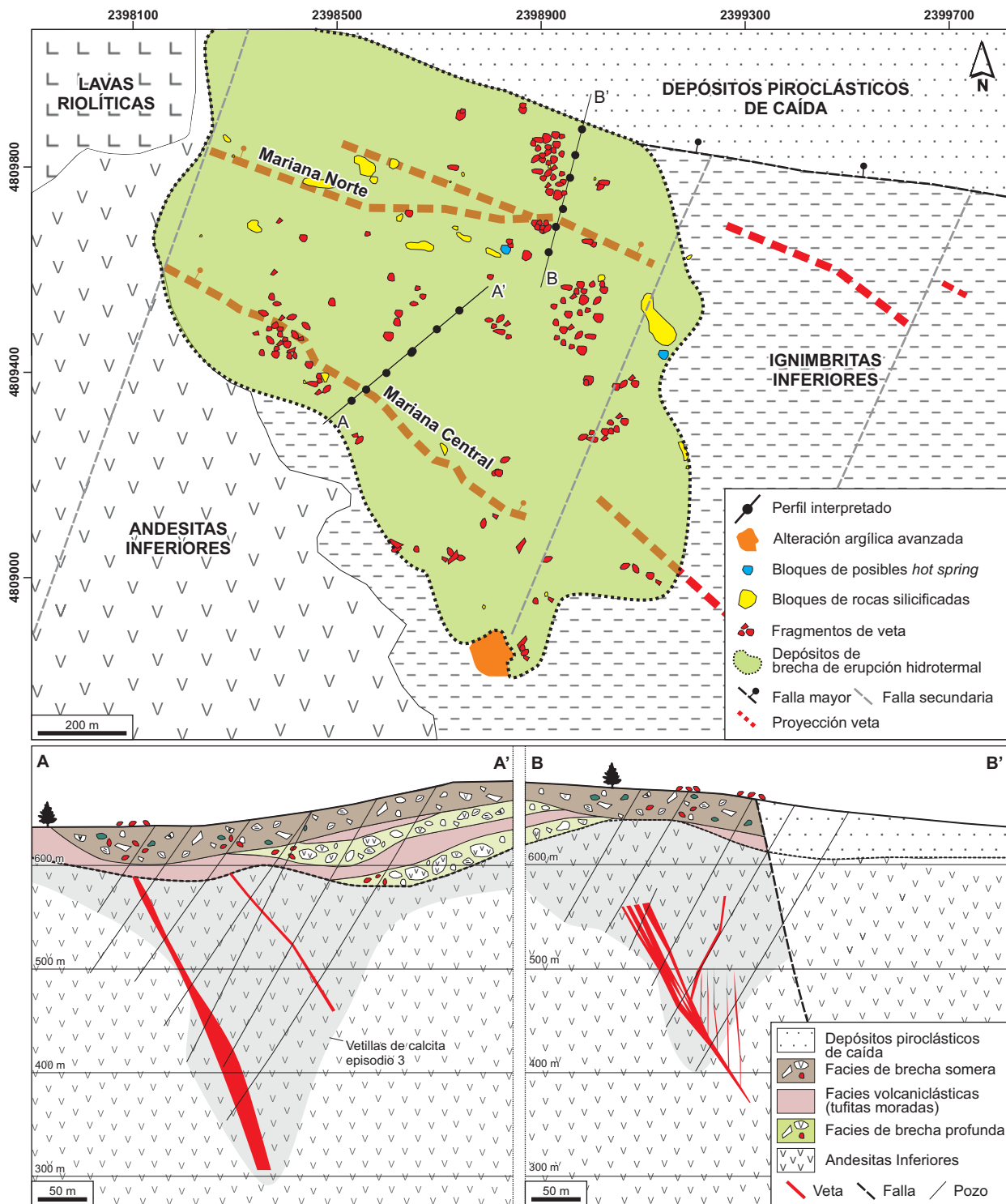
Por otra parte, por encima de la veta Mariana Central y en el contacto de las Andesitas Inferiores con la brecha de erupción hidrotermal en profundidad, así como también en el extremo sur de los afloramientos de los depósitos de brecha, se describen alteraciones argílicas avanzadas de naturaleza ácida. Estas se han formado como consecuencia de la condensación de gases ( $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ ), separados de los fluidos hidrotermales en la ebullición, generando aguas calentadas por fase vapor (*steam heated waters*, Ebert & Rye, 1997).

Asimismo, hacia el sector sureste se ubican depósitos de *hot spring* de origen principalmente carbonático (Guido & Campbell, 2012), que corresponden a las expresiones superficiales de sistemas geotermales, donde las descargas de los fluidos se desarrollan típicamente en sectores donde el nivel freático intercepta la superficie (Sillitoe, 1993).

Este capítulo tiene como objetivo la caracterización del ambiente cercano a la superficie dentro de los sistemas epitermales del área de estudio, se describen y caracterizan los depósitos de brechas de erupción hidrotermal y las alteraciones asociadas a los niveles someros junto con los procesos que le dieron origen. Adicionalmente, se analizan los depósitos de *hot spring* de composición carbonática presentes en la zona y su posible origen.

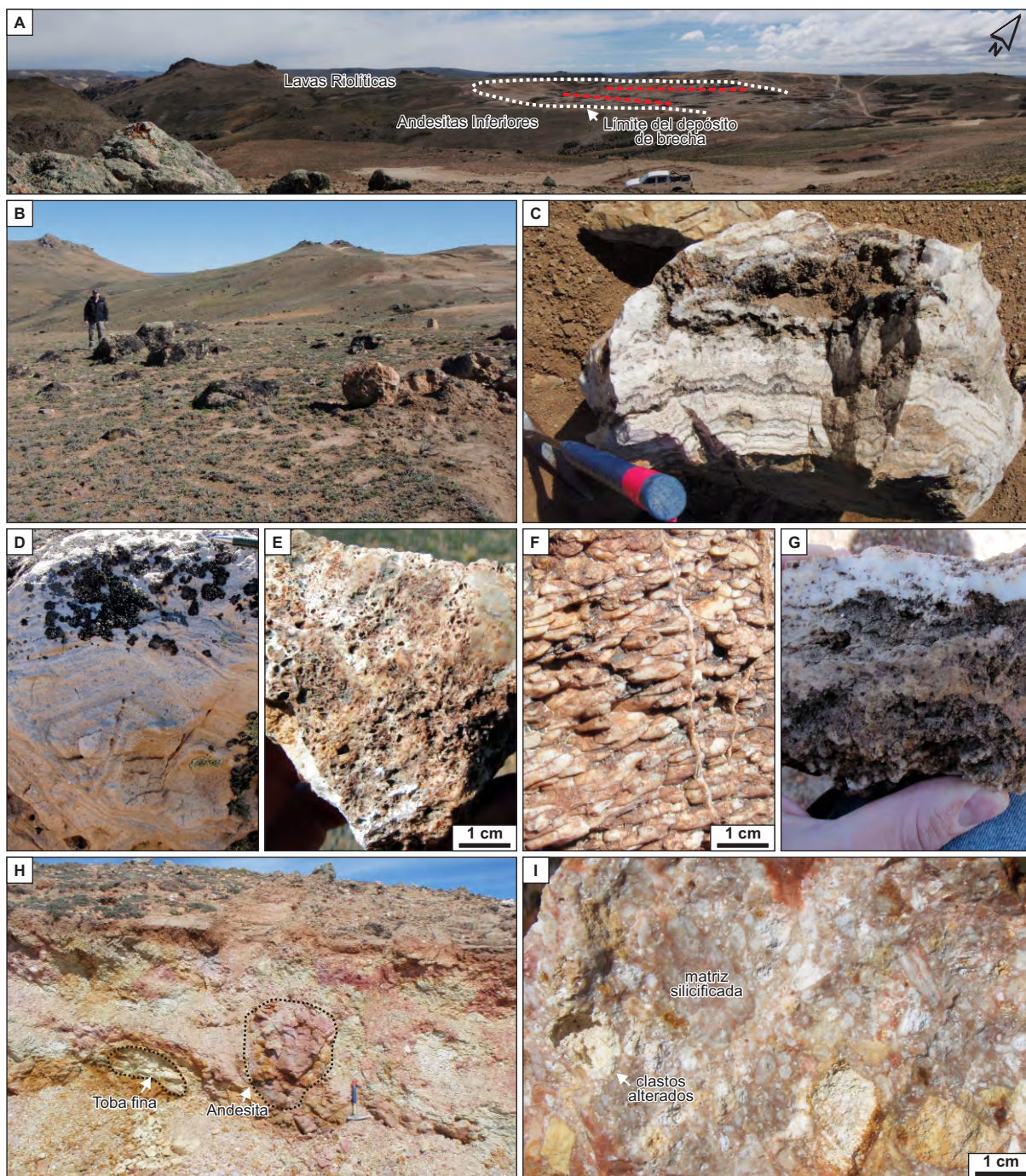
## **5.2. Brecha de erupción hidrotermal**

De manera de reconstruir la morfología de la brecha y los depósitos asociados, se interpretaron y analizaron 10 perforaciones ubicadas a lo largo de dos perfiles perpendiculares a las principales estructuras mineralizadas (Figs. 5.2 perfiles A-A' y B-B', 5.3). Se estudiaron las características principales de los depósitos de brechas como son: la morfología, tamaño, origen y alteraciones de los clastos así como también las relaciones clasto/matriz; de manera de discriminar posibles variaciones de facies, tanto en sentido vertical como longitudinal. Las observaciones de detalle a lo largo de los dos perfiles permiten interpretar la evolución de los procesos que dieron origen a estos depósitos.



**Figura 5.2: Arriba:** Mapa de detalle del área de la brecha de erupción hidrotermal y la alteración argílica avanzada. **Abajo:** Interpretación de la geometría de los depósitos de brecha de erupción hidrotermal y facies asociadas en el perfil A-A' para Mariana Central y B-B' para Mariana Norte.





**Figura 5.3:** Características del depósito de brecha de erupción hidrotermal en superficie. **A)** Vista desde el sur de la depresión topográfica donde se encuentra el depósito de brechas de erupción hidrotermal por encima de las vetas Marianas. **B)** Zona con bloques distribuidos en superficie. **C)** Clasto de veta con textura coloforme-crustiforme, con bandas oscuras (*ginguro*) ricas en sulfuros. **D)** Bloque de roca sedimentaria silicificada, lápiz de escala en la parte superior derecha. **E)** Detalle de roca volcánica con alteración argílica avanzada. **F)** Detalle de clasto con textura de posible origen orgánico silicificada. **G)** Detalle de clasto con textura que recuerda a textura en empalizada, típica de depósitos de *hot-spring*. **H)** Afloramiento de brecha en planchada de perforación con clastos de andesita y tobas en con alteración hidrotermal pervasiva en la matriz. **I)** Detalle de brecha polimítica con matriz silicificada.



Esta brecha cubre las mineralizaciones de alta ley de las vetas Mariana Central y Mariana Norte. Ocupa un área aproximada de 1 Km<sup>2</sup> y comprende una serie de depósitos de brechas de erupción hidrotermal intercalados con depósitos volcanoclásticos retrabajados. La expresión superficial de estos depósitos corresponde a una depresión topográfica en forma de herradura, con bloques y fragmentos de hasta 3 metros de diámetro dispersos sobre un área sub-circular de 1 km<sup>2</sup> (Figs. 5.2, 5.3 A, B). La mayoría de los fragmentos encontrados corresponden a clastos de vetas con texturas bandeadas crustiformes-coloformes con valores promedio de 7 g/t de Au y 41 g/t de Ag (Shatwell et al, 2011), que se encuentran concentrados por encima de las estructuras no aflorantes (Figs. 5.2; 5.3C).

Hacia el límite norte se reconocen bloques de roca de caja con una silicificación pervasiva como también de sedimentos finos silicificados (Figs. 5.2, 5.3 D, E). Además, algunos bloques hacia los bordes del depósito presentan características que recuerdan a depósitos de tipo *hot spring* silicificados (Figs. 5.2, 5.3 F, G). Por otra parte, algunas planchadas realizadas para la ubicación de perforaciones, permiten la observación de depósitos de brechas hidrotermales polimícticas con una alteración hidrotermal pervasiva (argilización y silicificación, Fig. 5.3 H, I).

Los depósitos de brecha conforman un embudo invertido que alcanza un promedio de ~100 m de espesor entre las vetas, desarrollado en discordancia sobre las Andesitas Inferiores.

Se pudieron discriminar las siguientes facies: facies de brechas someras, facies de brechas profundas y depósitos volcanoclásticos; que son descriptas en detalle a continuación.

*Facies de brechas someras:* Se trata de un depósito de morfología tabular cercano a la superficie, que alcanza los ~40 metros de espesor hacia la veta Mariana Central (Fig. 5.2 perfil A-A'). Está compuesto por brechas polimícticas con estructura matriz soportada (Fig. 5.4A). La matriz ocupa de 20 a 30% en volumen, es de color castaña a rojiza, producto de tinciones por óxidos de hierro y se compone de pequeños fragmentos de roca. Comúnmente estos cuerpos de brechas llevan finas vetillas de yeso póstumus (Fig. 5.4B). Los clastos son subangulosos a subredondeados, con tamaños centimétricos a decimétricos y están compuestos mayormente por rocas piroclásticas, volcanoclásticas y en menor medida por lavas andesíticas, con un variable grado de argilización y silicificación. Ocasionalmente se registran pequeños fragmentos de veta y otros silicificados que recuerdan a posibles fragmentos de depósitos de *hot spring*.

*Facies de brechas profundas:* Se trata de un depósito con geometría lenticular sub-horizontal, desarrollado hacia la veta Mariana Central con espesores de hasta 20-30 m de potencia (Fig. 5.2 perfil A-A'). Está compuesto por brechas polimícticas con estructura matriz a clasto soportadas (Fig. 5.4C). La matriz es fina y su contenido es variable (10 a 30 % en volumen), y está compuesto por pequeños fragmentos de roca con cavidades rellenas de carbonatos (calcita y Mn-calcita). Además, por sectores estos cuerpos registran una alteración pervasiva, caracterizada por la presencia de abundante esmectitas, que genera zonas más friables dentro del cuerpo de la brecha (Fig. 5.4D). Estas brechas llevan mayor cantidad de clastos respecto de las brechas someras. Los tamaños alcanzan los 20 cm, tienen principalmente bordes angulosos a subangulosos y están compuestos mayormente por andesitas y en menor medida por rocas piroclásticas y volcanoclásticas con un variable grado de alteración argílica y silicificación. De manera frecuente, se registran fragmentos de brechas silicificadas que sugieren más de un episodio de brechamiento (Fig. 5.4D); por último, también se registran fragmentos de veta con texturas masivas a bandeadas con arreglos crustiformes-coloformes (Fig. 5.4E). Tanto el tamaño como la cantidad de los fragmentos de veta se incrementan directamente por encima de las estructuras mineralizadas.

*Facies volcanoclásticas:* Está compuesta por depósitos retrabajados (tufitas) de colores morados que se intercalan con las facies de brechas profundas, registrándose espesores de hasta 20 metros (Figs. 5.2, 5.4F). La alteración hidrotermal es sutil y está restringida a pequeñas vetillas y rellenos en cavidades de calcita.

En función de lo observado, se interpreta un primer evento explosivo registrado en las facies de brechas profundas, que incluye dos episodios de brechamiento intercalados con depósitos sedimentarios que se formaron durante intervalos de menor actividad explosiva del sistema geotermal. Estas facies se encuentran desarrollados mayormente hacia la veta Mariana Central, que se interpreta como posible conducto generador de estas erupciones. Posteriormente, se registra otro ciclo sedimentario que antecede a un nuevo evento explosivo de mayores dimensiones, que dio origen a las facies de brecha someras que se extienden por encima tanto de la veta Mariana Central como de la veta Mariana Norte, truncando a los depósitos previos. Los mayores espesores de esta unidad se presentan por encima de ambas vetas, sugiriendo que ambas estructuras mineralizadas pudieron funcionar como zonas de conducto.



**Figura 5.4:** Características de las facies de brecha de erupción hidrotermal. **A)** Facies de brechas someras compuestas por brechas polimícticas, con textura matriz soportada. **B)** Finas vetillas de yeso en la matriz de la brecha. **C)** Facies de brechas profundas compuestas por brechas polimícticas, matriz/clasto soportada en una matriz fina de colores verdosos. **D)** Detalle de fragmento de brecha en facies de brecha profunda con una matriz alterada a esmectitas. **E)** Detalle de fragmento de veta bandeada en facies de brecha profunda. **F)** Facies volcanoclásticas compuesta por tufitas con tonalidades moradas.

Ambas facies de brechas contienen fragmentos de veta con mineralización de alta ley, evidenciando que los eventos explosivos tuvieron lugar durante y/o en forma tardía respecto de la formación de los cuerpos mineralizados. La disposición de las unidades descriptas refleja posiblemente la paleotopografía jurásica. Finalmente, los depósitos de estas brechas son cubiertos por coladas dómicas de composición riolítica de la Sección Superior hacia el noroeste y por depósitos piroclásticos de caída de la Sección Superior hacia el extremo noroeste, en contacto por falla (Fig. 5.2).

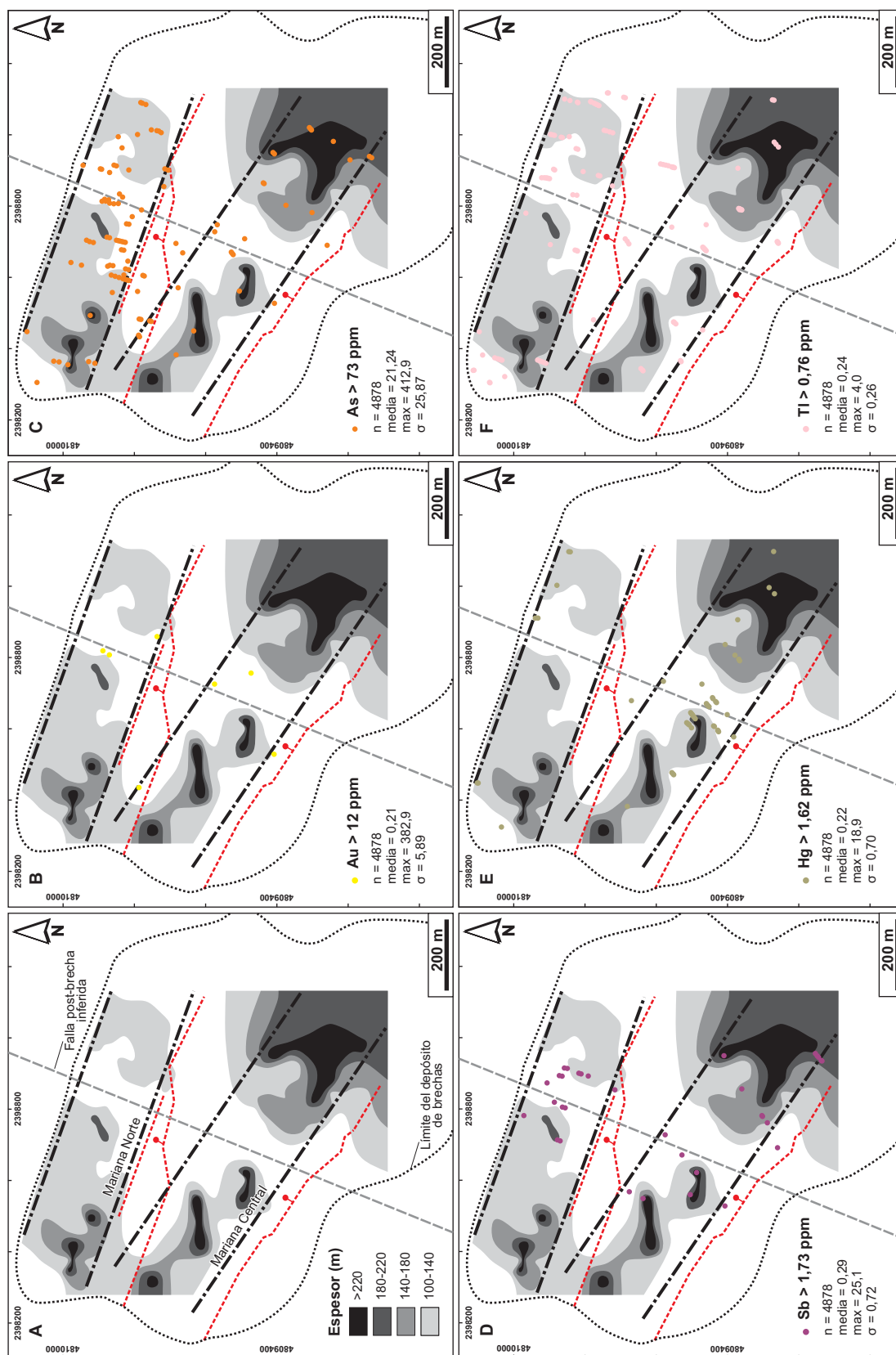
### **5.2.1. Geoquímica de la brecha**

Con el fin de reconocer los depocentros y la signature geoquímica de la cubierta que incluye los depósitos de brecha de erupción hidrotermal, se compilaron un total de 4878 muestras tomadas sobre 181 perforaciones. Dichas muestras pertenecen a la base de datos de la empresa que lleva a cabo la exploración en el área (Goldcorp Inc.).

Para obtener los espesores, se tomaron la diferencia de profundidad entre la última muestra correspondiente a los depósitos que cubren a las mineralizaciones y la altura de la boca del pozo. Para la caracterización geoquímica se trataron los datos de manera estadística a fin de obtener parámetros como la media, desvío estándar, valores máximos y anomalías representadas por los valores mayores a la media más dos desvíos ( $2\sigma$ ).

La Figura 5.5 muestra los resultados obtenidos donde se destacan los principales depocentros con espesores mayores a 200 metros (Fig. 5.5A). Estos se localizan en dos fajas de orientaciones NO y ONO dispuestas de manera subparalela y hacia el bloque bajo de las principales estructuras mineralizadas. Por otra parte, una posible falla de rumbo NE separa a distintos depocentros dentro de la misma faja.

En los depósitos sin/postminerales que incluyen las brechas de erupción hidrotermal en Marianas, solo algunas muestras arrojaron valores anómalos de Au mayores a 12 g/t ( $2\sigma$ ), en general dispuestos en ambas fajas y hacia los bordes de los depocentros, que podrían corresponderse con facies de brechas portadoras de clastos de vetas mineralizadas (Fig. 5.5B). En cuanto al As se registran una gran cantidad de muestras anómalas con valores mayores a 73 g/t ( $2\sigma$ ) distribuidas en el centro y borde de los depocentros con una mayor concentración en la faja de la veta Mariana Norte (Fig. 5.5C). Los valores de Sb mayores a 1,73 g/t ( $2\sigma$ ) se alojan en centro y borde de los depocentros que se corresponden con la veta Mariana Central y hacia el límite del depocentro que se corresponde con la veta Mariana



**Figura 5.5:** A) Mapa isopáquico del contacto entre las andesitas y la cubierta postmineral, con la proyección de las vetas Mariana Norte y Mariana Central. **B-F)** Mapas de anomalías ( $>2\sigma$ ) de Au, As, Sb, Hg y Tl para los depósitos postminerales incluyendo la brecha de erupción hidrotermal.

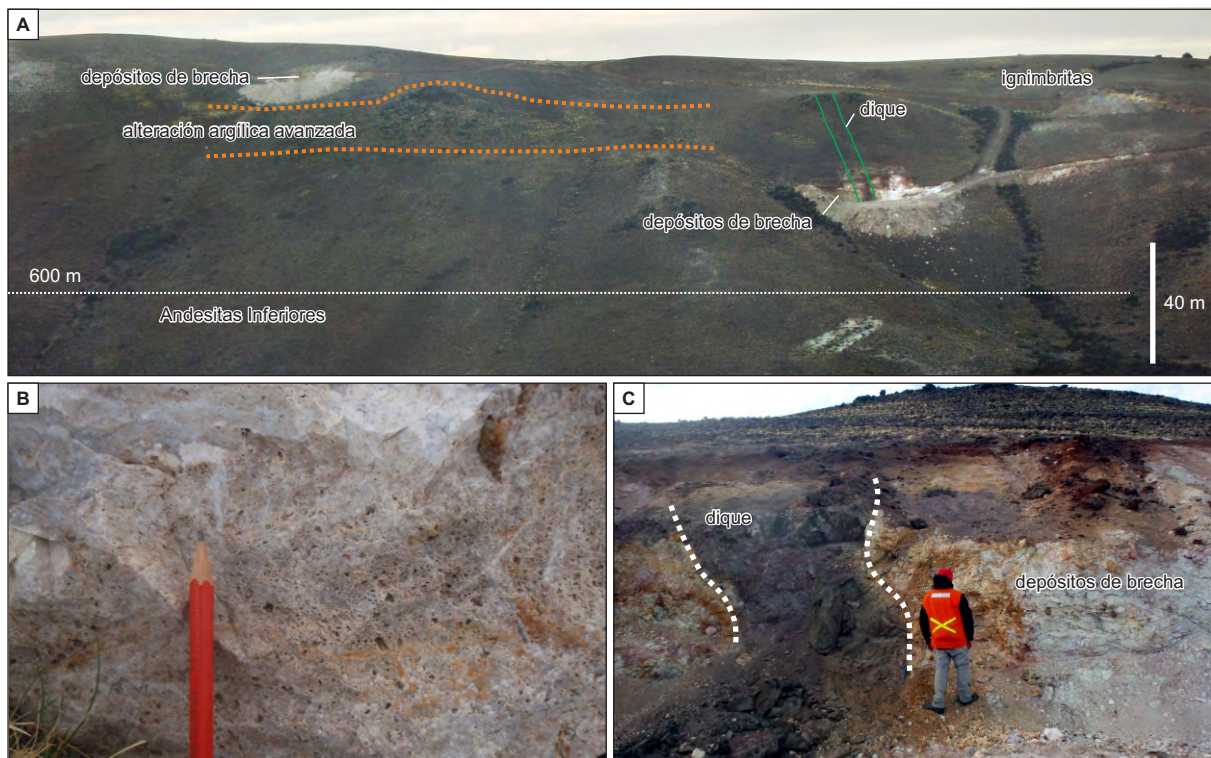


Norte (Fig. 5.5D). El Hg con contenidos superiores a 1,62 g/t se concentra en mayor medida en la faja de Mariana Central y hacia el borde de los depocentros (Fig. 5.5E). Por último, el Tl con contenidos mayores a 0,76 g/t ( $2\sigma$ ) tiene una distribución más amplia ya que se extiende más allá de las fajas aunque se concentra mayormente en la faja de Mariana Norte (Fig. 5.5F).

De esta manera, la signatura geoquímica de los depósitos de brecha estudiados, con valores anómalos en Au, As, Sb, Hg y Tl, es compatible con la signatura geoquímica del ambiente de tipo *hot spring*, que incluye a los depósitos de brechas de erupción hidrotermales tanto en campos geotermales fósiles como activos (Hedenquist & Henley, 1985b; Rowland & Simmons, 2012).

### **5.3. Alteraciones hidrotermales cercanas a la superficie (*steam heated*)**

Con el fin de caracterizar las alteraciones hidrotermales someras, se analizaron las interpretaciones obtenidas a partir de datos de PIMA (*Potable Infrared Mineral Analyser*) realizadas sobre los perfiles correspondientes al sistema Marianas-San Marcos (ver capítulo 4). En este sector, los resultados revelan que las vetas están asociadas a un halo de alteración conformado por illita + esmectita + adularia + cuarzo  $\pm$  clorita mientras que en posiciones someras predominan las esmectitas; que afectan a los depósitos de brechas de erupción hidrotermal (Figs. 4.18, 5.6 A, B). Además, por encima de la veta Mariana Central y en el contacto de las Andesitas Inferiores con la brecha a los 100 metros de profundidad, se interpretó un nivel subhorizontal de al menos 10 metros de espesor, dominado por una alteración ácida caracterizada por la presencia de caolinita, acompañada de piritita diseminada, ópalo, y trazas de dickita y alunita (Figs. 4.18, 5.6 A, B). Estos resultados, fueron oportunamente interpretados como producto de alteraciones de aguas calentadas por fase vapor (*steam heated waters*) para los depósitos de brechas y asociados (ver Capítulo 4). Por otra parte, en el extremo sur de los depósitos de brecha (Figs. 5.1, 5.2), a ~660 msnm (altura coincidente con el nivel subhorizontal), se encuentra un afloramiento con una orientación NO y de un espesor aproximado de 10 metros, constituido por rocas fuertemente alteradas, de aspecto poroso, y reemplazadas por cuarzo gris masivo (Fig. 5.6 A, B). Las cavidades tienen formas prismáticas a tabulares que asemejan a fenocristales de una lava. Se interpreta que esta silicificación fue producida por una fuerte lixiviación que ha eliminado a casi todos los



**Figura 5.6:** A) Vista desde el SW con la ubicación de los depósitos de brechas de erupción, dique andesítico y la alteración argílica avanzada. B) Detalle de roca de aspecto poroso, con cavidades de minerales producto de la alteración ácida. C) Dique andesítico cortando los depósitos de brechas en los niveles basales.

componentes originales de estas rocas, pero aun conservando su textura original. Asimismo diques andesíticos cortan a los depósitos de brecha principalmente en sus niveles basales (Fig. 5.6C).

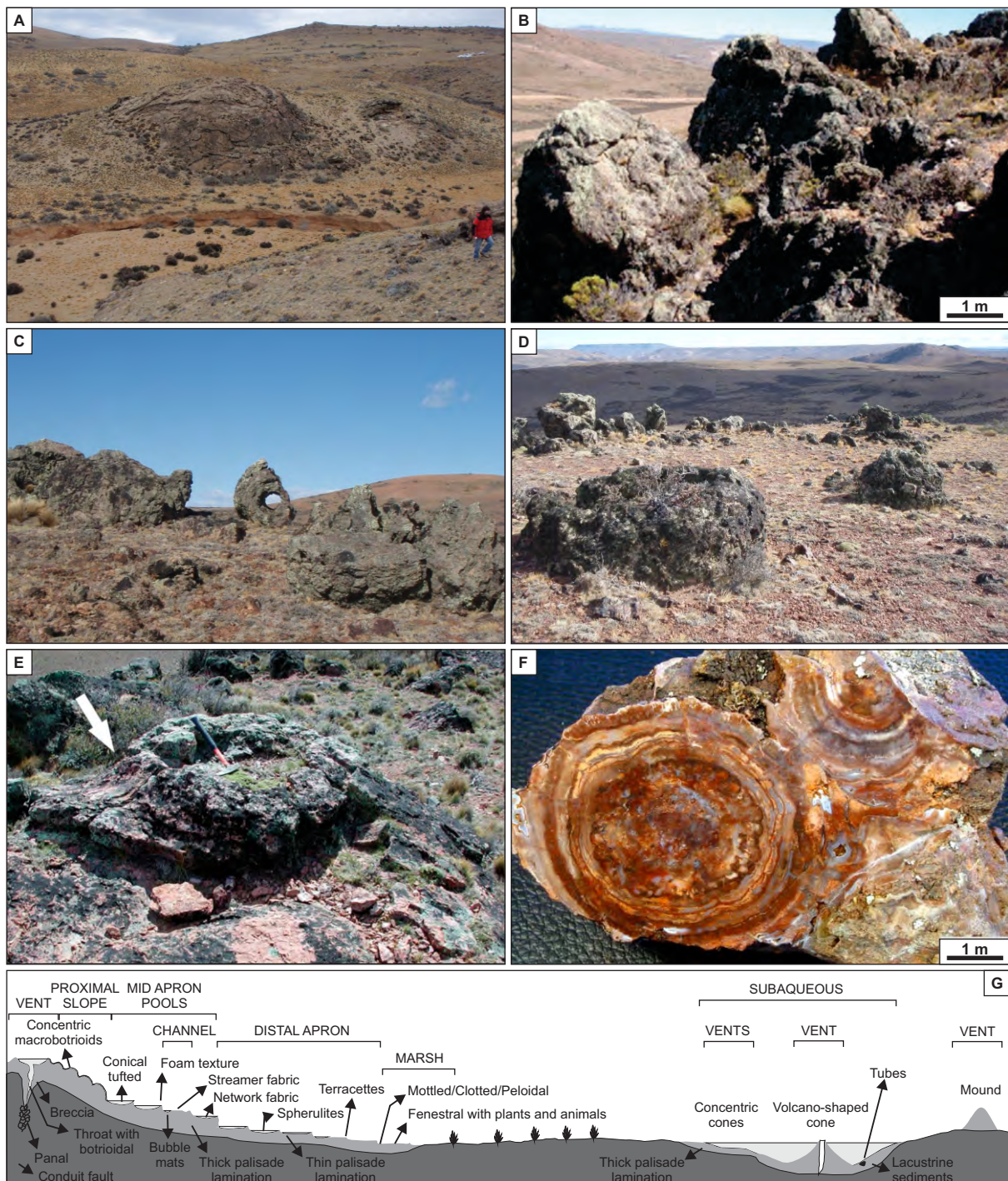
#### 5.4. Depósitos de *hot spring*

Los principales afloramientos de *hot spring* se ubican conformando un anillo alrededor del centro emisor SE (Guido & Campbell, 2012), conformado por un domo de composición riolítica. Los depósitos están formados principalmente por travertinos, algunos reemplazados por sílice. De acuerdo a su posición, se agrupan en un sector central a los alojados en el extremo norte del domo riolítico, con una orientación ENE-ONO separados por una falla inferida de rumbo NW-SE, y alojados en un ambiente lacustre a fluvial volcanoclástico retrabajado (Fig. 5.1). Por otra parte, los afloramientos del sector suroeste se ubican sobre la porción más somera de la veta Eureka, donde esta registra texturas que sugieren su cercanía a la paleosuperficie (Fig. 5.1; López, 2006).

Guido & Campbell (2012) reconocen y describen en detalle 5 tipos de manifestaciones calcáreas con reemplazos silíceos características y similares a los depósitos actuales de Yellowstone (EEUU). Dos de los mismos corresponden a travertinos de ambientes subaéreos como son 1) montículos/crestas de fisura (*travertine fissure ridges/mounds*, Fig. 5.7 A, G) y 2) montículos y terrazas (*apron terraces*) silicificadas (Fig. 5.7 B, G). Otras dos facies de naturaleza calcárea reemplazadas por sílice reconocidas corresponden a 3) tubos de conducto (*vent-conduit tubes*, Fig. 5.7 C, G), y 4) montículos estromatolíticos (*stromatolitic mounds*, Fig. 5.7 D, G), ambos desarrollados en un ambiente lacustre somero. Por último, un depósito desarrollado en un ambiente sublacustre compuesto por 5) conos con forma de volcán (*volcano-shaped cones*; Fig. 5.7 E-G) de origen mixto (calcáreo/silíceo).

Las dimensiones de estos afloramientos en el área estudiada, son comparables con depósitos en campos geotermales activos como Taupo en Nueva Zelanda y Yellowstone en EEUU (Guido & Campbell, 2012).





**Figura 5.7:** Características de las principales facies de depósitos de *hot spring* identificados en el oeste de Cerro Negro por Guido & Campbell (2012). **A)** Montículo calcáreo de gran escala, desarrollado en un ambiente subaéreo. **B)** Montículos de conducto de travertinos y terrazas parcialmente erosionadas. **C)** Tubos de conducto estromatolíticos volcado, y **D)** montículos carbonáticos desarrollados en un ambiente de margen de lago. **E)** Cono de formas de volcán compuesto por una mezcla de sílice y carbonatos depositados en un ambiente sublacustre. **F)** Estromatolitos botroidales reemplazados por sílice, expuestos en la base del cono. **G)** Sección esquemática representando la reconstrucción paleoambiental basado en las distintas facies identificadas, modificado de Guido & Campbell (2011).

## 5.5. Discusiones

### 5.5.1. Naturaleza y mecanismos de erupción hidrotermal

El análisis detallado de los depósitos de brechas que cubren las vetas epitermales Mariana Central y Mariana Norte, permiten clasificarlos como originados a partir de una serie de erupciones hidrotermales, separadas por períodos de pausa en la explosividad donde predominaron procesos volcano-sedimentarios (Permuy Vidal et al., 2012). Este tipo de brechas se forman en un ambiente cercano a la paleosuperficie con tamaños reducidos y con grandes variaciones faciales (e.g. Browne y Lawless, 2001).

Las principales características que permiten definir a este tipo de brechas son su distribución, morfología, textura, naturaleza de la matriz y los clastos, alteración hidrotermal, y las relaciones y distribución clasto/matriz, y coinciden con las descritas para brechas de erupción hidrotermal por Hedenquist & Henley (1985b), Nelson & Giles (1985), Browne & Lawless (2001), entre otros. La signatura geoquímica, con anomalías en Au, As, Sb, Hg y Tl, también concuerda con el ambiente de formación de estos depósitos (Hedenquist & Henley, 1985b). Teniendo en cuenta sus dimensiones, espesores y la distribución tanto del depósito como de los fragmentos, la brecha de erupción estudiada es comparable con erupciones hidrotermales de gran escala como las ocurridas en Kawerau, Wairakei, Tikitere, Orakei Korako, Te Kopia, Rotokawa y Waiotapu en Nueva Zelanda, entre otras (Hedenquist & Henley, 1985b; Nelson & Giles, 1985; Browne & Lawless, 2001; Rowland & Simmons, 2012) y las erupciones hidrotermales mencionadas en Yellowstone (EEUU) por Muffler et al (1971). Por otra parte, los estudios e interpretaciones realizadas sobre el sistema Mariana-San Marcos concuerdan con el ambiente y los procesos requeridos para la formación de este tipo de depósitos (ver capítulo 4).

Las erupciones hidrotermales se forman en niveles someros de sistemas hidrotermales activos (aproximadamente a menos de 300 metros de profundidad). Numerosos autores describen dichas erupciones en campos geotermales activos y coinciden en que el fluido debe al menos superar la presión litostática para poder iniciar la erupción (Nelson & Giles, 1985; Hedenquist & Henley, 1985b; Browne & Lawless, 2001).

La precipitación, principalmente de sílice, sella fracturas generando un aumento general de la presión del sistema. Las primeras hipótesis sobre la formación de las brechas sostenían que grandes zonas selladas por sílice producían la sobrepresión del sistema (Nelson & Giles, 1985). Por otra parte, indicaban que la presencia de gas y vapor pueden aumentar la



presión del sistema. Hedenquist & Henley (1985a) señalan que sellamientos localizados pueden acumular gases como CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>S que no se condensan, aumentando la presión y generando condiciones favorables para producir una erupción hidrotermal. Además, los sistemas ricos en vapor también pueden producir erupciones simplemente por la liberación súbita de vapores calientes. Sin embargo, Browne & Lawless (2001) advierten que los sistemas ricos en vapor contienen menos energía que los sistemas ricos en líquido equivalente. Cuando la erupción se inicia, el gas se expande a velocidades que pueden alcanzar la velocidad del sonido, produciendo polvo de roca. Luego, el fluido en ebullición se descomprime bruscamente (*flashing*) para producir una mezcla dominada por la fase vapor que fluye verticalmente por el conducto despresurizado para finalmente descargar en superficie.

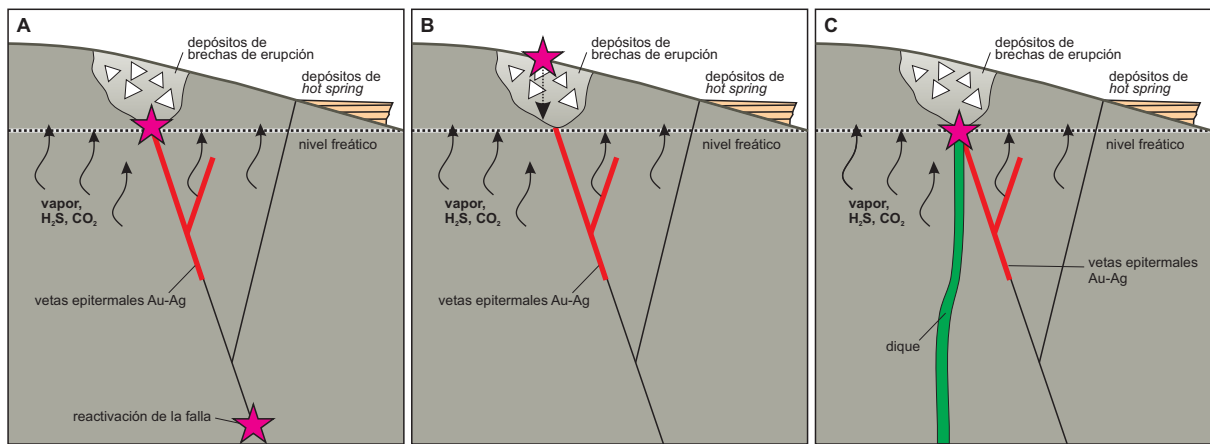
Los principales mecanismos de erupciones hidrotermales fueron sintetizados por Browne & Lawless (2001) en varios escenarios posibles (Fig. 5.8):

*Aumento de presión* (Fig. 5.8A): Las erupciones hidrotermales pueden ocurrir si la presión del fluido hidrotermal aumenta por encima del valor de la carga litostática y la resistencia (*yield strength*) de las rocas suprayacentes. La mayoría de los sistemas no alcanzan dichas presiones ya que el fluido alcanza la superficie utilizando nuevos canales generados por sismicidad o recristalización, y evidenciados por la presencia de depósitos de *hot spring* y fumarolas en superficie. Browne & Lawless (2001) infieren que este mecanismo es importante en sistemas geotermales jóvenes que comienzan a interactuar con la superficie.

*Acumulación de vapor y/o gas* (Fig. 5.8A): La presión del fluido puede exceder la presión litostática si el vapor presente puede ascender hasta posiciones someras. Variaciones sostenidas en el nivel freático pueden ocasionar sobrepresiones por el enfriamiento de los gases no condensables.

*Liberación rápida de presión* (Fig. 5.8A): Cualquier sistema geotermal cercano a la curva de ebullición en profundidad puede gatillar una erupción hidrotermal cuando el líquido es transformado violenta y totalmente en vapor (*flashing*). Esta despresurización puede ser generada por actividad sísmica, deslizamientos, variaciones en el nivel freático (e.g. desglaciación), fracturamiento hidrotermal, etc.

*Flashing progresivo (modelo “top-down”, Fig. 5.8B)*: En este modelo las erupciones hidrotermales comienzan muy cerca de la superficie (no necesitan una carga litostática



**Figura 5.8:** Mecanismos de erupciones hidrotermales, modificado de Hedenquist & Henley (1985), Browne & Lawless (2001) y Rowland & Simmons (2012). **A)** Aumento de presión, acumulación de vapor y/o gas, liberación rápida de presión. Estos mecanismos requieren que la presión aumente por encima de la presión litostática y además pueden estar gatillados por reactivaciones tectónicas en profundidad. **B)** *Flashing* progresivo (modelo “*top-down*”) se generan en posiciones someras y no necesitan de una carga litostática significativa. **C)** Erupciones hidrotermales por aporte de gas y/o calor magmático.

significativa) y requieren de un fluido en ebullición. Los primeros modelos matemáticos propuestos por McKibbin et al. (1989) indican que el contenido de gas (CO<sub>2</sub>) inicial no es crítico para este mecanismo, ya que solo lo controlan la temperatura y la profundidad en la cual se inicia el *flashing*. Recientemente, modelos propuestos por Fullard & Lynch (2012) indican que las condiciones más favorables se generan en sistemas inicialmente compuestos solo por líquido. Los primeros vapores formados que alcanzan la superficie, permiten una reducción de presión y una rápida formación de vapor. Este vapor provee la energía necesaria para fracturar, elevar y eyectar fragmentos de las rocas de caja. A medida que el fluido y las rocas son eyectadas, el frente de despresurización se mueva hacia abajo y más material puede ser eyectado inclusive fragmentos previos. Las erupciones que penetran a mayores profundidades son aquellas desarrolladas en rocas permeables, por lo que el tamaño de la erupción depende del volumen y tasa de recarga del fluido próximo a la ebullición (Browne & Lawless, 2001; Fullard & Lynch, 2012).

*Adición de calor o gas magmático* (Fig. 5.8C): el aporte de calor y/o gas magmático puede gatillar erupciones denominadas magmático-hidrotermales, aunque no es necesario que ocurra la fragmentación del magma como podría ser el caso de erupciones freato-magmáticas.

Como fuese desarrollado en el capítulo 4, las observaciones realizadas en el sistema Marianas-San Marcos evidencian procesos de *flashing* vinculados principalmente al primer episodio mineralizante de alta ley registrado en el sistema vetiforme (E1, Figs. 4.21, 4.28). Este tipo de mecanismos es particularmente compatible con la generación de brechas de erupción hidrotermal de acuerdo a lo desarrollado en los párrafos anteriores. La presencia de fragmentos de veta de alta ley indican que estos procesos continuaron con posterioridad a la formación de las mineralizaciones. Además, el registro de al menos tres episodios eruptivos evidencian la ciclicidad de estos procesos. Sumado a esto, cabe destacar la presencia, en el extremo SE del depósito, de un dique básico que corta a los niveles basales de los depósitos de brechas (Figs. 5.6 C, E, 5.8C), con lo cual no se descarta algún tipo de participación magmática (e.g. Tarawera y Waiotapu en Nueva Zelanda; Nairn et al., 2004) durante los últimos y mayormente extendidos eventos explosivos (Facies de Brechas Someras).

Como consecuencia de la generación de estas erupciones se forman cráteres que generan zonas deprimidas del paisaje, que son afectados por procesos de erosión y de *slumping* de sus paredes, dando lugar al desarrollo de facies sedimentarias de ambientes lacustres/fluviales. Las erupciones hidrotermales duran horas a días, de manera que son

insignificantes a nivel de la actividad hidrotermal, hasta que el sistema se reestablece por factores como la variaciones en la permeabilidad, o bloqueo de la columna por vapor. Finalmente, el cráter se rellena con aguas frías superficiales (e.g. Lago Okaro, Nueva Zelanda; Nairn et al., 2004) o calientes producto del restablecimiento del sistema hidrotermal (e.g Champagne Pool en Nueva Zelanda; Hedenquist & Henley, 1985b). Algunos ejemplos como Kawerau y Orakei Korako (Nueva Zelanda) registran repetidas erupciones separadas por cientos y a miles de años (Browne & Lawless, 2001), comparable con los distintos ciclos eruptivos registrados para la brecha de erupción Marianas.

### **5.5.2. Alteraciones hidrotermales someras**

En el área correspondiente a la brecha de erupción Marianas, fueron identificadas dos zonas con evidencias de alteraciones hidrotermales de naturaleza ácida cerca de la superficie que coinciden en su posición topográfica. Un nivel subhorizontal detectado por perforaciones rico en caolinita, ópalo, pirita diseminada, y trazas de dickita y alunita, y un afloramiento constituido por rocas volcánicas fuertemente silicificadas de aspecto poroso.

Este tipo de alteraciones se interpretan como producto de fluidos ácidos relacionado a la circulación de aguas calentadas por vapor (*steam-heated waters*, Ebert & Rye, 1997). Se registran en sistemas geotermales activos, donde el H<sub>2</sub>S que proviene del fluido en ebullición se oxida en la zona vadosa para formar aguas sulfatadas ácidas (Fig. 5.9 A, B; Hedenquist et al., 2000; Simmons et al., 2005). La temperatura de estas aguas están entre los 100 a 120°C, con pH cercanos a 2. Bajo estas condiciones, son capaces de disolver la mayoría de los minerales, generando alteraciones de tipo argílica avanzadas compuestas por ópalo, caolinita, alunita y pirita. Su distribución es de tipo mantiforme (*blankets*) y se ubican ocupando la posición del paleonivel freático, con espesores variables dependiendo de las variaciones del nivel freático (e.g. erosión, erupciones hidrotermales, Ebert & Rye, 1997; Hedenquist et al., 2000; Simmons et al., 2005). Las evidencias encontradas en el área de estudio permiten interpretar un manto con un espesor de ~ 10 metros.

Por otra parte, la alteraciones hidrotermales registradas en el sistema Marianas-San Marcos se componen principalmente de arcillas (esmectitas e illita) conformando un halo alrededor de las vetas, y extendiéndose en superficie afectando a la distintas facies de los depósitos de brechas de erupción. Hedenquist et al. (2000), Simmons & Browne (2000) y Simmons et al. (2005), indican que el origen de esta alteración es producto de la condensación del CO<sub>2</sub> por debajo del nivel freático dando origen a aguas calentadas por

vapor ricas en CO<sub>2</sub> a temperaturas ~150°C. Estas aguas producen alteraciones de tipo argílica (esmectita, caolinita, calcita ± siderita y cuarzo) distribuidas alrededor y hacia las periferias del fluido ascendente que pueden alcanzar hasta 1.000 metros por debajo del nivel freático (Fig. 5.9 A, B). La incursión de estas aguas durante los estadios finales puede formar carbonatos (calcita y Mn-calcita) que diluyen la mineralización principal como los descriptos para el episodio 3 del sistema Marianas-San Marcos y Eureka West (ver capítulos 3 & 4).

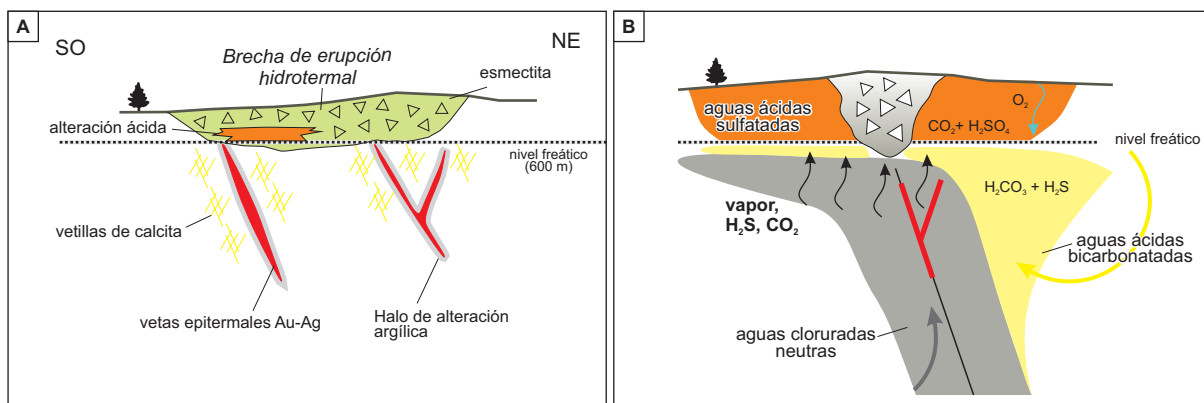
### **5.5.3. Naturaleza de los *hot spring***

Los depósitos de *hot spring* corresponden a las expresiones superficiales de sistemas geotermales, normalmente vinculados a ambientes volcánicos activos. Las descargas de fluidos hidrotermales en superficie se desarrollan típicamente en sectores bajos donde el nivel freático intercepta la superficie (Sillitoe, 1993). Dentro de los mismos se destacan los sintérs silíceos precipitados a partir de aguas cloruradas neutras a aguas sulfatadas ácidas, y los travertinos producto de la descarga de aguas ácidas bicarbonatadas (e.g. Fournier, 1985; Pentecost, 2005; Schinteie et al., 2007).

En el área de estudio todos los depósitos de *hot spring* están compuestos por travertinos de ambiente subaéreo a sublacustre, algunos de ellos silicificados, principalmente los alojados en la falla vinculada a la veta Eureka (Guido & Campbell, 2012). De esta manera se evidencian procesos de ebullición, los cuales dieron origen a las aguas bicarbonatadas precursoras de los travertinos. Además, Guido & Campbell (2012) mencionan que probablemente exista un aporte de CO<sub>2</sub> magmático por la desgasificación de magmas dado que no existen carbonatos en la estratigrafía local.

Estos depósitos registran la actividad hidrotermal en superficie y muestran variables grados de preservación dependiendo de las relaciones vulcanismo versus erosión. El oeste del distrito Cerro Negro es un ejemplo de dicha preservación, registrando varias facies correspondientes a estos sistemas, desde subaéreos a subácueos con características comparables con sistemas activos como Yellowstone en EEUU (Guido & Campbell, 2012). En un contexto regional, en el Macizo del Deseado son típicas las manifestaciones de sistemas geotermales fósiles de edad Jurásico Superior, generalmente bien preservadas (Guido & Schalamuk, 2003; Guido & Campbell, 2011, entre otros).





**Figura 5.9:** **A)** Esquema con las principales características del ambiente de formación de la brecha de erupción Marianas. **B)** Esquema detallando los principales procesos que ocurren en un ambiente epitermal somero.

## 5.6. Resumen y conclusiones

Durante el Jurásico Superior, en el sector oeste del distrito Cerro Negro y como consecuencia de la actividad volcánica, se desarrollaron varios sistemas hidrotermales que estuvieron activos por lo menos 1 Ma (156-155 Ma, ver capítulo 3 y 4). En este sector es posible identificar los principales componentes de las partes someras de un sistema hidrotermal (geotermal) fósil, y a partir de su estudio interpretar los procesos que han tenido lugar durante su actividad.

Hacia el noroeste de la zona de estudio, predominan cuerpos intrusivos y vetas epitermales de intermedia a baja sulfuración (Eureka West y el sistema Marianas-San Marcos), vinculados a un vulcanismo de tipo andesítico-dacítico, mientras que hacia el sector SE predomina el vulcanismo efusivo de composición riolítica con depósitos de *hot spring* asociados. Las características más superficiales encontradas hacia el noreste corresponden a los depósitos de brechas de erupción hidrotermal y alteraciones hidrotermales ácidas de tipo *steam heated* (alteración argílica avanzada) que cubren las mineralizaciones de Mariana Central y Mariana Norte. Estos depósitos se distribuyen en un área de alrededor de 1 km<sup>2</sup>, y están compuestos por al menos dos facies de brechas de erupción hidrotermal que alternan con facies retrabajadas que representan una pausa en la explosividad. Tanto el ambiente formacional, como los mecanismos que originaron los depósitos de brechas y las alteraciones correspondientes, concuerdan con los procesos de *flashing* identificados para la formación del sistema de vetas epitermales estudiado.

Por otra parte, hacia el sector sureste se preservan las características más someras de los sistemas hidrotermales representados por depósitos de *hot spring* compuestos por travertinos depositados en un ambiente lacustre a subaéreo, de características y dimensiones comparables con otros sistemas geotermales activos como Yellowstone (EEUU).

## Capítulo 6:

### Conclusiones

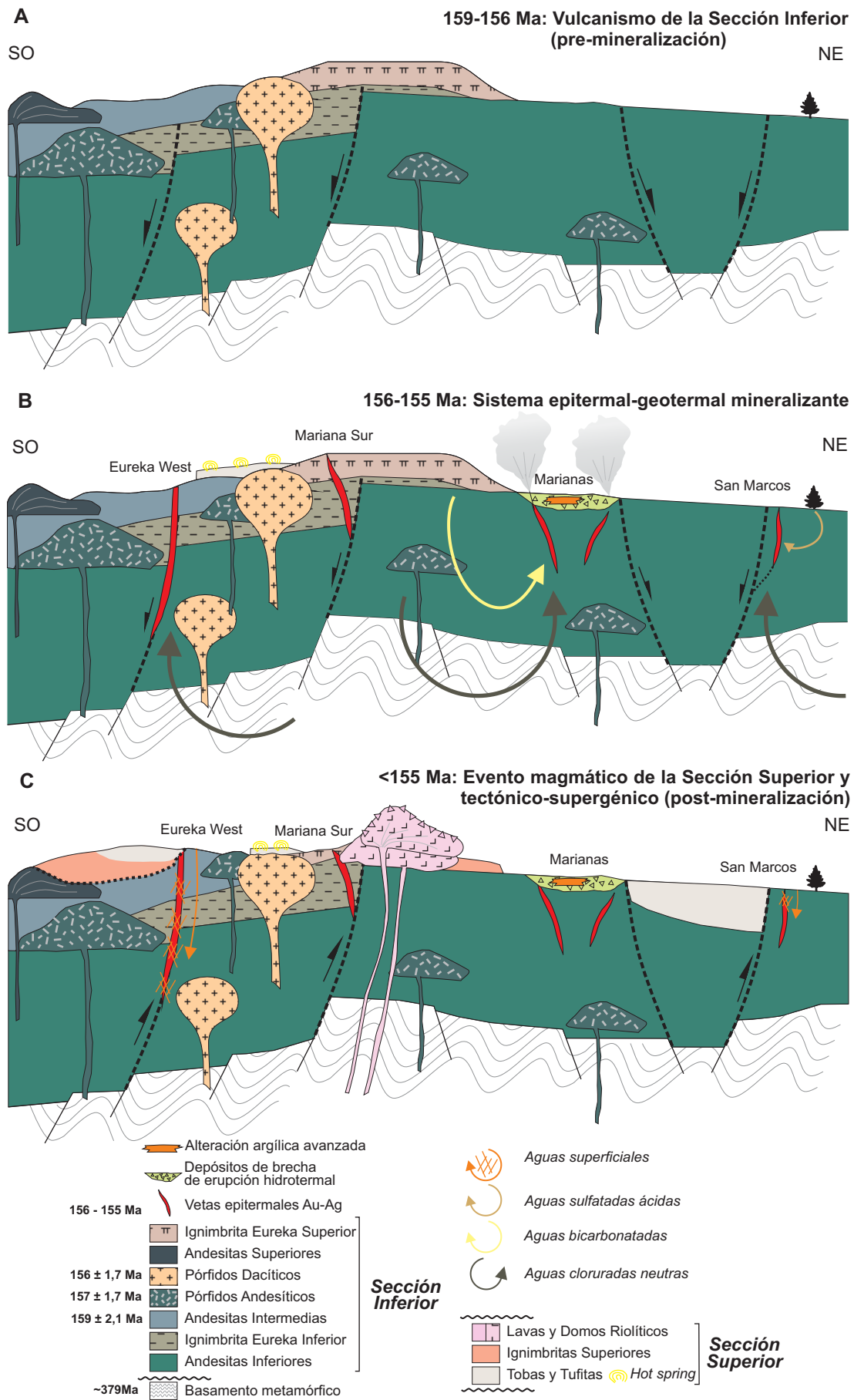
#### 6.1. Evolución Geológica

La geología del oeste del distrito Cerro Negro está compuesta por una secuencia volcánica jurásica representada por el CVBL, que apoya sobre un basamento metamórfico no aflorante, formado por metasedimentitas con una edad máxima de depositación (edad U-Pb SHRIMP) de ~379 Ma (Devónica superior).

La cubierta volcánica jurásica tiene al menos 400 metros de espesor. En ella se describe una Sección Inferior que agrupa rocas genéticamente relacionadas, a través de composiciones intermedias (andesíticas a dacíticas) y formada por una intercalación de lavas y niveles piroclásticos de flujo, que en su etapa final desarrolla un conjunto de cuerpos intrusivos subvolcánicos (Fig. 6.1A). Las características reportadas para este ciclo volcánico, permiten interpretarlo preliminarmente como relacionado a un aparato volcánico de naturaleza poligenética (varios eventos eruptivos) y de larga vida (>3 Ma, 159-156 Ma, López, 2006).

Tardíamente respecto a las intrusiones del techo del vulcanismo intermedio de la Sección Inferior, y como consecuencia de un alto gradiente térmico, se generaron las condiciones para el emplazamiento de un campo geotermal-hidrotermal de unos 15 km<sup>2</sup>. Los fluidos hidrotermales se focalizaron en sitios de mayor permeabilidad como son las zonas extensivas de grandes fallas, posiblemente heredadas del basamento (Eureka) y en fracturas secundarias (sistema Marianas-San Marcos), generando veta epitermales de Au-Ag, datadas en 156-155 Ma (Fig. 6.1B) cuyos principales aspectos se sintetizan en la Tabla 6.1. En niveles someros (zonas de descarga) se distinguen depósitos de brechas de erupción hidrotermal con niveles de retrabajamiento, alteraciones hidrotermales de naturaleza ácida y depósitos de *hot spring*. Este sistema epitermal-geotermal se produce entre el vulcanismo de la Sección Inferior y el de la Sección Superior, en una etapa de baja actividad volcánica donde se produce retrabajamiento de los materiales volcánicos, dando lugar a depósitos de Tobas y Tufitas en ambientes fluvio-lacustres.

Hacia el tope de la secuencia volcánica (Sección Superior) se registra una declinación en la frecuencia del vulcanismo, que se desarrolla de manera más episódica y relacionada a la



**Figura 6.1:** Esquema de la evolución geológica y metalogénica del oeste del distrito Cerro Negro.

**Tabla 6.1:** Cuadro comparativo de Eureka West y el sistema Marianas-San Marcos

	Eureka West	Marianas-San Marcos
<i>Geología del área</i>	Andesitas Intermedias, Ignimbrita Eureka Inferior, Pórfidos Andesíticos, Pórfidos Dácíticos. Extremo NO cubierto por Tobas y Tufitas, Ignimbrita Superior	Andesitas Inferiores, Ignimbrita Eureka Inferior, Pórfidos Andesíticos. Domos Riolticos tardíos. Brechas de erupción hidrotermal con depósitos volcánoclasticos reabajados
<i>Características de las vetas</i>		
Rumbo e inclinación	N300 a 310°/60 a 90°SO	Mariana Central: N305°/60°NE Marianan Norte: 260°/60°NE San Marcos: 270°/85-90°S
Longitud	1 km	Mariana Central: 1 km Marianan Norte: 900 m San Marcos: 800 m
Espesor	>20 m	Mariana Central: 5 m promedio (hasta 20 m) Marianan Norte: 3,5 m promedio (hasta 10 m) San Marcos: 4 m promedio (hasta 15 m)
Extensión vertical	>400 m	Mariana Central: >300 m Marianan Norte: >250 m San Marcos: >400 m
Episodios y pulsos mineralizantes	6 pulsos agrupados en 4 episodios. E1 a E3 hidrotermales, E4 tectónico-hidrotermal	10 pulsos agrupados en 4 episodios. E1 a E3 hidrotermales, E4 tectónico-hidrotermal
Texturas	bandeados crustiformes-coloformes, cocardas, rellenos masivos, texturas brechosas, texturas de reemplazo de calcita y minerales fibro-radiados	bandeados crustiformes-coloformes, cocardas, rellenos masivos, texturas brechosas, texturas de reemplazo de calcita y minerales fibro-radiados
Minerales de ganga	cuarzo (calcedonia) >> adularia > carbonatos de Fe-Mn > calcita > illita-clorita > caolinita > jarosita + FeOx	cuarzo (calcedonia) >> adularia > calcita > esmectitas, illita, clorita, caolinita > albita > apatita > titanita > jarosita + FeOx > carbonatos
Minerales de mena 1 <sup>rios</sup>	electrum, acantita, polibasita-pearceíta, pirita, calcopirita, esfalerita, galena, bornita	electrum, acantita, polibasita-pearceíta, pirita, calcopirita, esfalerita, galena, tetraedrita, bornita, pirargirita, marcasita, arsenopirita
Minerales de mena 2 <sup>rios</sup>	Electrum rico en Au, acantita, calcopirita, calcosina, covelina, cuprita, malaquita, azurita, mckinstyrita - stromeyerita, pirargirita, plata nativa, amalgama de Ag-Hg	Acantita, calcopirita, plata nativa
<i>Signatura Geoquímica</i>		
Relación Ag: Au	Au, Ag, As, Zn, Pb, Cu 17:1	Au, Ag, Sb, As, Zn, Pb, Cu, Se, Hg, Tl <10:1
<i>Alteracion Hidrotermal</i>		
próxima a la veta	illita + esmectitas ± clorita ± adularia ± pirita	illita + esmectitas ± clorita ± adularia ± pirita
someros	esmectita + illita	esmectitas + illita ± clorita ± caolinita ± dickita ± ópalo ± pirita ( <i>Steam heated</i> )
profundo	esmectitas ± clorita	clorita + illita ± calcita ± epidoto ± pirita
supergénica	caolinita + jarosita + FeOx	
<i>Inclusiones fluidas (Th, salinidad, comp.)</i>		
primarias		
adularia	263°C, 0,35% NaCl eq., As y Sb (pulso 1)	221° a 286°C, 2,9% de NaCl eq. (pulso 1)
cuarzo		263° a 290°C, 1,74% NaCl eq., Na, K, Ca, As y Sb (pulso 1)
albita		279° a 294°C, 3% NaCl eq. (pulso 4)
calcita		290°, 1% NaCl eq., Na y Ca (pulso 9)
secundarias		264° a 302°C, 1,74% NaCl eq., Na, K, Ca, As, Sb, Zn y Fe (pulso 1)
líquidas	Fe, Pb, Zn, As, Sb y trazas de Au y Ag (pulso 2)	270°C, 1,2% NaCl eq. (pulso 2)
vapor	abundantes	abundantes
<i>Isótopos estables</i>		
$\delta^{18}\text{O}$ adularia	7,2 a 12,9‰ (pulso 1)	6,6 a 13‰ (pulso 1)
$\delta^{18}\text{O}$ (fluido)	1,7 a 7,4‰ (pulso 1)	-2,8 a 0,8‰ (pulso 1)
$\delta_{18}\text{O-H}$ arcillas		1,4 a 4,5‰; -79,8 a -70‰ (pulso 1)
$\delta^{18}\text{O-H}$ (fluido)		-8,8 a 3,9‰; -64,8 a -55‰ (pulso 1)
$\delta^{13}\text{C}$ ; $\delta^{18}\text{O}$ calcita	-7,39 a -6,12‰; -4,06 a -5,91‰ (pulso 1 y 5)	-9,2 a -8,5‰; -31,1 a -28,8‰ (pulso 9)
$\delta^{13}\text{C}$ ; $\delta^{18}\text{O}$ (fluido)	-5,97 a -4,82‰; -3,21 a -1,36‰ (pulso 1 y 5)	-7,85 a -7,22‰; -8,5 a -6,1‰ (pulso 9)
$\delta^{34}\text{S}$ pirita		-0,5 a -0,9‰ (pulso 1)
$\delta^{34}\text{S}$ (fluido)		-0,2 a -0,6‰ (pulso 1)
<i>Edad (<math>^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}</math>)</i>	156,41 ± 0,20 Ma	Mariana Central: 155,37 ± 0,65 Ma, 154,41 ± 0,43 Ma, 155,74 ± 0,59 Ma Mariana Norte: 155,27 ± 0,89 Ma, 155,11 ± 0,44 Ma San Marcos: 155,87 ± 0,92 Ma



evolución de complejos de domos y flujos ignimbríticos de naturaleza ácida, relacionados a un vulcanismo de naturaleza mayormente monogenético sin una relación co-magmática con las unidades previas (Fig. 6.1C).

Finalmente, y posiblemente entre el Jurásico superior y el Cretácico inferior, se producen reactivaciones de las fallas, con modificación de las menas, formando un evento tectónico-hidrotermal detectable en las vetas y que aporta zonas puntuales de muy alta ley (Fig. 6.1C). Favorecido por este evento tectónico se habría incrementado el descenso de aguas oxidantes superficiales a las fallas portadoras de mineralización, iniciando un proceso de enriquecimiento secundario en las vetas del distrito, que en algunos casos alcanza los 400 m de profundidad.

## **6.2. Modelo Metalogénico**

Guido et al. (2012) realizan una revisión geológica-metalogenética del Macizo del Deseado proponiendo una serie de modelos para los depósitos epitermales de esta región. Para el Jurásico Superior se define al “Modelo Vetiforme” que agrupa las mineralizaciones más típicas del Macizo del Deseado, compuestas por vetas epitermales de baja a intermedia sulfuración emplazadas a una profundidad mayor a 300 metros, distales o asociadas al vulcanismo de tipo andesítico. Además, proponen un nuevo concepto para la zona, definido como “Modelo Geotermal”, para los depósitos formados cerca de la paleosuperficie jurásica (< 300 metros), tanto distales como cercanos a los centros eruptivos andesíticos. Este nuevo modelo agrupa mineralizaciones auríferas como vetas, brechas tectono/hidrotermales, domos riolíticos y materiales volcánicos retrabajados mineralizados. En ambos modelos las mineralizaciones distales muestran una tendencia a formar depósitos de baja sulfuración, y las proximales a formar depósitos de sulfuración intermedia.

De acuerdo a la clasificación mencionada, en el oeste del distrito Cerro Negro las observaciones y resultados obtenidos en la presente tesis permiten ubicar a los depósitos Eureka West y el sistema Marianas-San Marcos dentro del Modelo Geotermal. Dentro de este esquema, Eureka West se desarrolló en una posición próxima a la fuente volcánica y correspondería al equivalente somero de depósitos conocidos como de intermedia a baja sulfuración como son Manantial Espejo, Martha y San José en el Macizo del Deseado (Echeveste, 2005; Wallier, 2009; Páez, 2012; Rodríguez, 2013), Fresnillo y Veta Madre en Méjico (Albinson, 2001), entre otros. El sistema Marianas-San Marcos se formó en una

posición distal de la fuente magmática, siendo entonces comparable con depósitos de baja sulfuración típicos como Hishikari en Japón (Izawa et al., 1990), Round Mountain, Sleeper, McLaughlin y Midas en el oeste de los Estados Unidos (John, 2001), Martha Hill y Favona en Nueva Zelanda (Brathwaite & Faure, 2002; Simpson & Mauk, 2007).

El depósito epitermal de Cerro Negro representa el mejor ejemplo de depósitos de Au-Ag de alta ley pertenecientes al Modelo Geotermal del Macizo del Deseado, con preservación de los dos subtipos (proximal y distal a intrusivos), aportando gran variedad de características mineralógicas, geoquímicas y de exploración hasta ahora no reconocidas en la provincia metalogénica del Deseado.

## Referencias

- Albison, T., Norman, D. I., Cole, D., Chomiak, B., 2001, Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. Society of Economic Geologists Special Publication 8: 1-32.
- Allen, S. R., McPhie, J., 2003. Phenocrystal fragments in rhyolitic lavas and lavas domes. *Journal of Volcanological and Geothermal Research*, 126: 263-283.
- Arancibia, G., Matthews, S. J., Cornejo, P., Pérez de Arce, C., Zuluaga, J.I. Kasaneva, S., 2006.  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  and K–Ar geochronology of magmatic and hydrothermal events in a classic low-sulfidation epithermal bonanza deposit: El Peñon, northern Chile. *Mineralium Deposita* 41: 505-516.
- Augustsson, C., Bahlburg, H., 2008. Provenance of late Palaeozoic metasediments of the Patagonian proto-Pacific margin (southernmost Chile and Argentina). *International Journal of Earth Science* 97: 71-88.
- Augustsson, C., Münker, C., Bahlburg, H., Fanning, C. M., 2006. Provenance of late Palaeozoic metasediments of the SW South American Gondwana margin: a combined U–Pb and Hf-isotope study of single detrital zircons. *Journal of the Geological Society* 163: 983-995.
- Bhatia, M. R., Crook, K. A., 1986. Trace elements characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 92: 181-193.
- Barton, M. D., Kieft, C., Burke, E. A. J., Oen, I. S., 1978. Uytendogaardtite, a new silver–gold sulfide. *Canadian Mineralogist* 16: 651-659.
- Berger, B. R., Eimon, P. I., 1983. Conceptual models of epithermal metal deposits in Shanks, W.C., ed., *Cameron Volume on Unconventional Mineral Deposits*: Society of Mining Engineers, New York, p. 191-205.
- Bodnar, R. J., Vityk, M. O., 1994. Interpretation of microthermometric data for  $\text{H}_2\text{O}$ – $\text{NaCl}$  fluid inclusions. En: *Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications*, B. De Vivo y M. L. Frezzotti, eds., Virginia Tech, Blacksburg, VA, p. 117-130.
- Bodnar, R. J., Reynolds, T. J., Kuehn, C. A., 1985. Fluid inclusion systematics in epithermal systems. *Geology and geochemistry of epithermal systems*: In: Berger, B.R., Bethke, P.M. (Eds.), *Reviews in Economic Geology* 2: 73-97.
- Bottinga, Y., 1968. Calculated fractionation factors for carbon and oxygen isotopic exchange in the system calcite-carbon dioxide-water: *Journal of Physical Chemistry* 72: 800-808.
- Brathwaite, R.L., Faure, K., 2002. The Waihi epithermal gold-silver-base metal sulfide-quartz vein system, New Zealand: Temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition. *Economic Geology* 97: 269-290.
- Brown, K. L., 1986. Gold deposition from geothermal discharges in New Zealand. *Economic Geology* 81: 979-983.

- Browne, P. R. L., 1978. Hydrothermal Alteration in Active Geothermal Fields. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 6 (1): 229-248.
- Browne, R. R. L., Ellis, A. J., 1970. The Ohaaki-Broadlands hydrothermal area, New Zealand: Mineralogy and related geochemistry. *American Journal of Science* 269: 97-131.
- Browne, P. R. L., Lawless, J. V., 2001. Characteristics of hydrothermal eruptions, with examples from New Zealand and elsewhere. *Earth-Science Reviews* 52: 299-331.
- Buchanan, L., 1981. Precious metal deposits associated with volcanic environments in the southwest. En: Dickinson, W. and Payne, W. (editors). *Relations of tectonics to ore deposits in the southern cordillera*. Arizona Geological Society, Digest, XIV: 237-262.
- Castor, S. B., Sjöberg, J. J., 1993. Uytnebogaardite,  $\text{Ag}_3\text{AuS}_2$ , in the Bullfrog mining district, Nevada: *Canadian Mineralogist* 31: 89-98.
- Cawood, P. A., Hawkesworth, C. J., Dhuime, B., 2012. Detrital zircon record and tectonic setting. *Geology* 40: 875-878.
- Cline, J. S., Bodnar, R. J., Rimstidt, J. D., 1992. Numerical simulation of fluid flow and silica transport and deposition in boiling hydrothermal solutions: Application to epithermal gold deposits. *Journal of Geophysical Research* 97 (B6): 9085-9103.
- Cobos, J.C., Panza, J., 2003. Hoja Geológica 4769-IV, Servicio geológico Minero Argentino, Boletín 319, 89 p., Buenos Aires.
- Cocker, H. A., Mauk, J. L., Rabone, S. D. C., 2013. The origin of Ag–Au–S–Se minerals in adularia-sericite epithermal deposits: constraints from the Broken Hills deposit, Hauraki Goldfield, New Zealand. *Mineralium Deposita* 48 (2): 249-266.
- Cole, D.R., 1994. Evidence for oxygen isotope disequilibrium in selected geothermal and hydrothermal ore deposit systems: *Chemical Geology* 111: 283–296.
- Cooke, D., Simmons, S., 2000. Characteristics and genesis of Epithermal Gold Deposits. *SEG Reviews* 13: 221-244.
- Corbett, G., 2002. Epithermal gold for explorationists. *AIG Journal-Applied geoscientific practice and research in Australia*, Paper 2002-01: 1-26.
- Corbett, G.J., 2004. Epithermal and porphyry gold – Geological models in Pacrim Congress 2004, Adelaide, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, p. 15-23.
- Corbett, G.J., 2012. Structural controls to, and exploration for, epithermal Au-Ag deposits. *Australian Institute of Geoscientists Bulletin* 56: 43-47.
- Corbett, G., Leach, T., 1997. Southwest pacific gold-copper systems: structure, alteration and mineralization. En: Corbett & Leach (Eds): *Short course manual*, 225 p.
- Corfu, F., Hanchar, J. M., Hoskin, P. W. O., Kinny, P., 2003. Atlas of Zircon Textures. *Reviews in Mineral and Geochemistry* 53: 469-500.
- Cravero, F., Domínguez, E., Murray, H., 1991. Valores  $\delta^{18}\text{O}$  en caolinitas indicadoras de un clima templado- húmedo para el Jurásico superior-Cretácico inferior de la Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 46 (1-2): 20-25.
- Chauvet, A., Bailly, L., André, A. S., Monié, P., Cassard, D., Tajada, F. L., Vargas, J. R., Tuduri, J., 2006. Internal vein texture and vein evolution of the epithermal Shila-Paula district, southern Peru. *Mineralium Deposita* 41: 387-410.

- Chernicoff, C. J., Zappettini, E. O., Santos, J. O. S., McNaughton, N. J., Belousova, E., 2013. Combined U-Pb SHRIMP and Hf isotope study of the Late Paleozoic Yaminué Complex, Rio Negro Province, Argentina: Implications for the origin and evolution of the Patagonia composite terrane. *Geoscience Frontiers* 4 (1): 37-56.
- Christiansen, R. L., Lowenstern, J. B., Smith, R. B., Heasler, H., Morgan, L. A., Nathenson, M., Mastin, L. G., Muffler, L. J. P., Robinson, J. E., 2007. Preliminary assessment of volcanic and hydrothermal hazards in Yellowstone National Park and vicinity: U.S. Geological Survey Open-file Report 2007-1071, 94 p.
- De Barrio, R., 1989. Aspectos geológicos y geoquímicos de la Formación Chon Aike (Grupo Bahía Laura) en el noroeste de la provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral N°528 (inédito). Facultad de Ciencias Naturales y Museo, Universidad Nacional de La Plata.
- De Barrio, R., 1993. El vulcanismo ácido jurásico en el noroeste de Santa Cruz, Argentina. XII Congreso Geológico Argentino, actas III: 289-298.
- De Barrio, R., Panza, J.L., Nullo, F., 1999. Jurásico y Cretácico del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. In: R. Caminos (Ed), *Geología Argentina*, anales 29 (17): 511-527. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- De Giusto, J., Di Persia, A., Pezzi, E., 1980. El Nesocratón del Deseado. Publicado en: II Simposio de Geología Regional Argentina. Tomo 2: 1389-1430. Academia Nacional Ciencias, Córdoba.
- Dickinson, W. R., Gehrels, G. E., 2009. U-Pb ages of detrital zircons in Jurassic eolian and associated sandstones of the Colorado Plateau: Evidence for transcontinental dispersal and intraregional recycling of sediment: *GSA Bulletin* 121: 408-433.
- Dietrich, A., Nelson, E., Gutierrez, R., Layer, P., 2005. Structural control of vein formation and mineralization at the epithermal Huevos Verdes Ag-Au vein system, San Jose District, Deseado Massif, Argentina. Geological Society of America, Annual Meeting Salt Lake City. Abstract N°39-7.
- Dong, G., Morrison, G. W., 1995., Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. *Mineralium Deposita* 30: 11-19.
- Dong, G., Morrison, G. W., Jaireth, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland: Classification, origin and implications. *Economic Geology* 90 (6): 1841-1856.
- Drever, J. I., 1997. The geochemistry of natural waters. Prentice Hall, New York, p 409-411.
- Echavarría, L. E., Schalamuk, I. B. A., Etcheverry, R. O., 2005. Geologic and tectonic setting of Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Monserrat. *Journal of South American Earth Sciences* 19: 415-432
- Echeveste, H., 2005. Metalogénesis del distrito argentoaurífero Manantial Espejo, Macizo del Deseado. Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata. Inédita. 272 p.
- Echeveste, H., Fernández, R. Bellieni, G., Tessone, M., Llambias, E., Schalamuk, I., Piccirillo, E., De Min, A., 2001. Relaciones entre las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike (Jurásico medio a superior) en el área de Estancia El Fénix-Cerro Huemul, zona centro-

- occidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56 (4): 548-558.
- Enaudi, M. T., Hedenquist, J. W., Inan, E. E., 2003. Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. Special Publication N°10: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids. Society of Economic Geologists, p. 285-313.
- Ebert, S.W., Rye, R.O., 1997. Secondary Precious Metal Enrichment by Steam-Heated Fluids in the Crofoot-Lewis Hot Spring Gold-Silver Deposit and Relation to Paleoclimate. *Economic Geology* 92: 578-600.
- Faúndez, V., Hervé, F., Lacassie, J. P., 2002. Provenance and depositional setting of pre-Late Jurassic turbidite complexes in Patagonia, Chile. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics* 45: 411-425.
- Faure, G., 1986. Principles of isotope geology. John Wiley and Sons. (Eds): 589 p.
- Faure K., Matsuhisa Y., Metsugi H., Mizota C., Hayashi S., 2002. The Hishikari Au-Ag Epithermal Deposit, Japan: Oxygen and Hydrogen Isotope Evidence in Determining the Source of Paleohydrothermal Fluids. *Economic Geology* 97: 481-498.
- Fernández, R.R., Blesa, A., Moreira, P., Echeveste, H., Mykietiuik, K., Andrada De Palomera, P., Tessone M., 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (4): 665-681.
- Feruglio, E., 1949. Descripción geológica de la Patagonia. 3 Volúmenes, Dirección Nacional de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Buenos Aires.
- Fournier, R.O., 1985. The behaviour of silica in hydrothermal solutions. En Berger, B.R. y Bethke, P.M. (Eds.), *Geology and Geochemistry of Epithermal Systems*, 2. Reviews in *Economic Geology* 2: 45-60.
- Friedman, I., O'Neil, J. R., 1977. Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest. In: *Data of Geochemistry*. U.S. Geol. Surv., Prof. Pap., 440-KK, 6th ed.
- Fullard, L. A., Lynch, T. A., 2012. On the Initiation of a Hydrothermal Eruption Using the Shock-Tube Model. *Transport in Porous Media* 94: 19-46.
- Gehrels, G.E., 2000, Introduction to detrital zircon studies of Paleozoic and Triassic strata in western Nevada and northern California, in Soreghan, M.J., and Gehrels, G.E., eds., *Paleozoic and Triassic paleogeography and tectonics of western Nevada and northern California*. Geological Society of America Special Paper 347: 1-18.
- Giacosa, R. E., Márquez, M. M., Panza, J. L., 2002. Basamento Paleozoico inferior del Macizo del Deseado. In: Haller, M.J. (Ed). *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz*. Relatorio 15° Congreso Geológico Argentino, 33-44.
- Giacosa, R., Zubia, M., Martínez, H., Fuentes, J., Sánchez, M., 2008. Evolución estructural Meso-Cenozoica del Sector Oriental de la Región Del Deseado (68° 00' y 69° 30' O, 47° 00' Y 48° 30' S, Santa Cruz, Argentina). XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 837-838. Jujuy, Argentina.



- Giggenbach, W., 1992. Isotopic shifts in waters from geothermal and volcanic systems along convergent plate boundaries and their origin. *Earth and Planetary Science Letters*, 113: 495-510.
- Goldstein, R. H., Reynolds, T. J., 1994. Systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals: Society for Sedimentary Geology Short Course 31, 199 p.
- González, P., Poiré, D., Varela, R., 2002. Hallazgo de trazas fósiles en la Formación El Jagüelito y su relación con la edad de las metasedimentitas, Macizo Norpatagónico Oriental, Río Negro. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 57 (1): 35-44.
- González, P. D., Tortello, M. F., Damborenea, S. E., 2011. Early Cambrian archaeocyathan limestone blocks in low-grade meta-conglomerate from El Jagüelito Formation (Sierra Grande, Río Negro, Argentina). *Geologica Acta* 9 (2): 159-173.
- Greffié, C., Bailly, L., Milési, J. P., 2002. Supergene Alteration of Primary Ore Assemblages from Low-Sulfidation Au-Ag Epithermal Deposits at Pongkor, Indonesia, and Nazareno, Peru. *Economic Geology* 97: 561-571.
- Guido, D., 2002. Geología y metalogénesis del sector oriental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata. Inédita. 244 p.
- Guido, D.M., 2004. Subdivisión litofacial e interpretación del volcanismo jurásico (Grupo Bahía Laura) en el este del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 50: 727-742.
- Guido, D.M., Campbell, K. A., 2011. Jurassic hot spring deposits of the Deseado Massif (Patagonia, Argentina): Characteristics and controls on regional distribution. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 203(1-2): 35-47.
- Guido, D. M., Campbell K. A., 2012. Diverse subaerial and sublacustrine hot spring settings of the Cerro Negro epithermal system (Jurassic, Deseado Massif), Patagonia, Argentina. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 229-230: 1-12.
- Guido, D. M., Schalamuk, I., 2003. Genesis and exploration potential of epithermal deposits from the Deseado Massif, Argentinean Patagonia. En: Eliopoulos et al. (Eds). *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Balkema-Rotterdam, Vol I: 493-496.
- Guido, D. M., Rapela, C. W., Pankhurst, R. J., Fanning, C. M., 2005. Edad del granito del afloramiento Bahía Laura, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. 16° Congreso Geológico Argentino 1: 85-88.
- Guido, D., Escayola, M., de Barrio, R., Schalamuk, I., Franz, G., 2006. La Formación Bajo Pobre (Jurásico) en el este del Macizo del Deseado, Patagonia: Vinculación con el Grupo Bahía Laura. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 61 (2): 187-196.
- Guido, D. M., Jovic S.M., Páez, G. N., Ruiz, R., Permuy Vidal, C., 2012. Avances en el conocimiento de la geología y mineralizaciones del Macizo del Deseado. *Argentina Mining 2012: Oportunidades de Negocios en Exploración, Geología y Minería*, Salta, Argentina, 45 p. Disponible en: [www.argentinamining.com/wp-content/uploads/ampresentaciones/dia2/16-40-guido.pdf](http://www.argentinamining.com/wp-content/uploads/ampresentaciones/dia2/16-40-guido.pdf).
- Hedenquist, J. W., 1983. Waiotapu, New Zealand: The geochemical evolution and mineralization of an active hydrothermal system. Universidad de Auckland. Tesis Doctoral Inédita. 243 p.

- Hedenquist, J. W., 1986. Geothermal systems in the Taupo volcanic zone: their characteristics and relation to volcanism and mineralization, en Smith, I.E.M. (ed.), Late Cenozoic volcanism in New Zealand: Royal Society of New Zealand Bulletin 23: 134-168.
- Hedenquist J. W., 1990. The thermal and geochemical structure of the Broadlands - Ohaaki geothermal system: *Geothermics* 19: 151-185.
- Hedenquist, J., 1991. Boiling and dilution in the shallow portion of the Waiotapu geothermal system, New Zealand *Geochimica et Cosmochimica Acta* 55: 2753-2765.
- Hedenquist, J.W., Henley, R.W., 1985a. The importance of CO on freezing point measurements of fluid inclusions: evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposition. *Economic Geology* 80: 1379-1406.
- Hedenquist, J.W., Henley, R. W., 1985b. Hydrothermal Eruptions in the Waiotapu Geothermal System, New Zealand: their Origin, associated breccias, and relation to precious metal mineralization. *Economic Geology* 80: 1640-1668.
- Hedenquist, J.W., Arribas, A. R., González-Urrien, E., 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. Review in *Economic Geology* 13: 245-277.
- Heinrich, C. A., Pettke, T., Halter, W. E., Aigner-Torres, M., Audétat, A., Günther, D., Horn, I., 2003. Quantitative multi-element analysis of minerals, fluid and melt inclusions by laser-ablation inductively-coupled-plasma mass-spectrometry. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 67 (18): 3473-3497.
- Henley, R. W., Brown, K. L., 1985. A practical guide to the thermodynamics of geothermal fluids and hydrothermal ore deposits. *Reviews in Economic Geology* 2: 25-44.
- Henley, R. W., Ellis, A. J., 1983. Geothermal systems, ancient and modern. *Earth Science Reviews* 19: 1-50.
- Henley, R. W., Hughes, G. O., 2000. Underground fumaroles: "Excess heat" effects in vein formation. *Economic Geology* 95 (3): 453-466.
- Henley, R. W., Truesdell, A. H., Barton, P. B., 1984. Fluid-mineral equilibria in hydrothermal systems: Society of Economic Geologists, *Reviews in Economic Geology* 1, p. 267.
- Hervé, F., Demant, A., Ramos, V., Pankhurst, R. J., Suárez, M., 2000. The Southern Andes. En: Cordani, U.G., Milani, E.J., Thomaz Filho, A., Campos, D.A. (Eds.), *Tectonic Evolution of South America*, 31st International Geological Congress, Rio de Janeiro, pp. 605-634.
- Hervé, F., Fanning, C. M., Pankhurst, R. J., 2003. Detrital zircon age patterns and provenance in the metamorphic complexes of Southern Chile. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 107-123.
- Hervé, F., Haller, M. J., Duhart, P., Fanning, C. M., 2005. SHRIMP U-Pb ages of detrital zircons from Cushamen and Esquel Formations, North Patagonian Massif, Argentina: geological implications. *16° Congreso Geológico Argentino* 1: 309- 312.
- Hoefs, J., 1987. *Stable Isotope Geochemistry*. Springer, p. 237.
- Homocv, J., Constantini, L., 2001. Hydrocarbon exploration potential within interpolate shear-related depocenters: Deseado and San Julián basins, southern Argentina. *American Association of Petroleum Geologist Bulletin* 85 (10): 1795-1816.

- Imai, A., Uto, T., 2002. Association of electrum and calcite and its significance to the genesis of the Hishikari gold deposits, southern Kyushu, Japan. *Resource Geology* 52: 381-394.
- Izawa, E., Urashima, Y., Ibaraki, K., Suzuki, R., Yokoyama, T., Kawasaki, K., Koga, A., Taguchi, S., 1990. The Hishikari deposit; high grade epithermal veins in Quaternary volcanics of southern Kyushu, Japan: *Journal of Geochemical Exploration* 36: 1-56.
- Jébrak, M., 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews* 12: 111-134.
- John, D.A., 2001. Miocene and Early Pliocene epithermal gold-silver deposits in the northern Great Basin, western United States: characteristics, distribution, and relationship to magmatism. *Economic Geology* 96: 1827-1853.
- Jovic, S., Jovic, N., Guido, D., Schalamuk, I., 2008. Caracterización de cuerpos intrusivos de la Formación Cerro León en el área del anticlinal El Tranquilo, Macizo del Deseado, Santa Cruz. 7° Congreso Geológico Argentino, Actas, Tomo 1; 851-852.
- Jovic, S. M., Guido, D. M., Schalamuk, I. B., Ríos, F. J., Tassinari, C. C. G., Recio, C., 2010. Pingüino In-bearing polymetallic vein deposit, Deseado Massif, Patagonia, Argentina: characteristics of mineralization and ore-forming fluids. *Mineralium Deposita* 45: 735-763.
- Jovic, S. M., Guido, D. M., Schalamuk, I. B., Ríos, F. J., Tassinari, C. C. G., Recio, C., 2011. Pingüino In bearing polymetallic vein deposit, Deseado Massif, Patagonia, Argentina: characteristics of mineralization and ore-forming fluids. *Mineralium Deposita* 46: 257-271.
- Korsch, R. J., Adams, C. J., Black, L. P., Foster, D. A., Fraser, G. L., Murray, C. G., Foudoulis C., Griffin, W. L., 2009. Geochronology and provenance of the Late Paleozoic accretionary wedge and Gympie Terrane, New England Orogen, eastern Australia. *Australian Journal of Earth Sciences: An International Geoscience Journal of the Geological Society of Australia* 56 (5): 655-685.
- Krupp, R. E., Weiser, T., 1992. On the stability of gold-silver alloys in the weathering environment. *Mineralium Deposita* 27: 268-275.
- Lloyd, E. F., 1959. The hot springs and hydrothermal eruptions of Waiotapu. *N. Z. J. Geology and Geophysics* 2: 141-176.
- López, R., 2006. Estudio Geológico-Metalogenético del area oriental al curso medio del Río Pinturas, sector noroeste del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata. Inédita. 226 p.
- Loske, W., Márquez, M., Giacosa, R., Pezzuchi, H., Fernández, M., 1999. U/Pb geochronology of pre-Permianbasementrocks in the Macizo del Deseado, Santa Cruz province, Argentine Patagonia. 14 Congreso Geológico Argentino Abstract, 102.
- Ludwig, K. R., 2001. SQUID 1.02, a User's Manual. In: Berkeley Geochronology Center Special Publication. No. 2, 2455 Ridge Road, Berkeley, CA 94709, US.
- Ludwig, K. R., 2003. Isoplot 3.00 A Geochronological toolkit for Microsoft Excel, Berkeley Geochronological Center Special Publication No.4, pp.71.
- Lyon, G. L., Hulston, J. R., 1984. Carbon and hydrogen isotopic compositions of New Zealand geothermal gases: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 48: 1161-1171.

- MacLean W. H., Barret T. J., 1993. Lithochemical techniques using immobile elements. *Journal of Geochemical Exploration* 48: 109-133.
- Márquez, M. J., 1994. Mineralizaciones De Tipo Cobre Porfidico De La Patagonia Argentina. 7° Congreso Geológico Chileno, Actas (II): 860-864. Concepción, Chile.
- Matsuhisa, Y., Morishita, Y., Sato, T., 1985. Oxygen and carbon isotope variations in goldbearing hydrothermal veins in the Kushikino mining area, southern Kyushu, Japan. *Economic Geology* 80: 283-293.
- McKibbin, R., 1989. An attempt at modelling hydrothermal eruptions. *Proc. 11th New Zealand Geothermal Workshop*, 267-273 p.
- McLennan, S.M., Hemming, S., McDaniel, D.K., Hanson, G.N., 1993. Geochemical approaches to sedimentation, provenance and tectonics. In: Johnsson, M.J., Basu, A. (Eds.), *Processes Controlling the Composition of Clastic Sediments*: Geological Society of America, Special Paper 284: 21-40.
- Micklethwaite, S., 2008. Mechanisms of faulting and permeability enhancement during epithermal mineralisation: Cracow goldfield, Australia. *Journal of Structural. Geology* 31: 288-300.
- Miller, J. D., Portillo, H., 1981. Silver catalysis in ferric sulphate leaching of chalcopyrite: *Developments in Mineral Processing*, 2 (A), p. 851-856.
- Moncada, D., Mutchler, S., Nieto, A., Reynolds, T. J., Rimstidt, J. D., Bodnar, R. J., 2012. Mineral textures and fluid inclusion petrography of the epithermal Ag-Au deposits at Guanajuato, Mexico: Application to exploration. *Journal of Geochemical Exploration* 114: 20-35.
- Moreira, P., 2005. Geología y Metalogénesis del Distrito La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata. Inédita. 383 p.
- Moreira, P., González, P., Fernández, R., Echeveste, H., Schalamuk, I., Etcheverry, R., 2005. El basamento de bajo grado de las Estancias La Modesta y La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 60 (1): 49-63.
- Moreira, P., Loustalot, I., Fernández, R., Echeveste, H., Gonzalez, P. D., Schalamuk, I., 2012. Estructura y metamorfismo de la Formación La Modesta en la estancia El Tranquilo (Santa Cruz), Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 69 (1): 19-27.
- Moreira, P., Fernández, R., Hervé, F., Fanning, M., Schalamuk, I., 2013. Detrital zircons U-Pb SHRIMP ages and provenance of La Modesta Formation, Patagonia Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 47: 32-46.
- Muffler, L. J. P., White, D. E., Truesdell, A. H., 1971. Hydrothermal explosion craters in Yellowstone National Park. *Geological Society of America Bulletin* 82: 723-740.
- Nairn, I. A., Hedenquist, J. W., Villamor, P., Berryman, K. R., Shane, P., 2004. The ~AD1315 Tarawera and Waiotapu eruptions, New Zealand: contemporaneous rhyolite and hydrothermal eruptions driven by an arrested basalt dike system? *Bulletin of Volcanology* 67: 186-193.
- Naipauer, M., Sato, A. M., González, P. D., Chemale Jr. F., Varela, R., Llambías, E. J., Greco, G. A., Dantas, E., 2010. Eopaleozoic Patagonia–East Antarctica connection: fossil and U-

- Pb evidence from El Jagüelito Formation. South American Symposium on Isotope Geology, 602-605.
- Nelson, C. E., Giles, D. L., 1985. Hydrothermal eruption mechanisms and hot spring deposits. *Economic Geology* 89: 1633-1639.
- Ohmoto, H., Rye, R., 1979. Isotopes of sulfur and carbon. En: H.L. Barnes (Ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*; John Wiley & Sons: 509-561.
- O'Neil, J. R., Clayton, R. N., Mayeda, T. K., 1969. Oxygen isotope fractionation in divalent metal carbonates. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51: 5547-5558.
- Paces, J. B., Miller, J. D., 1993. Precise U-Pb ages of Duluth Complex and related mafic intrusions, northeastern Minnesota: Geochronological insights to physical, petrogenetic, paleomagnetic, and tectonomagmatic process associated with the 1.1 Ga Midcontinent Rift. *Journal of Geophysical Research* 98: 13997-14013.
- Páez, G. N., 2012. Génesis del yacimiento de metales preciosos Mina Martha, sector sudoccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Universidad Nacional de La Plata. Inédita. 241 p.
- Páez, G. N., Ruiz, R., Guido, D. M., Schalamuk, I. B., 2008. Historia del Yacimiento Argentífero Mina Martha, Macizo Del Deseado, Santa Cruz. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 895-896. Jujuy, Argentina. Actas (II): 661-662. Jujuy, Argentina.
- Páez, G. N., Ruiz, R., Guido, D. M., Jovic, S. M., Schalamuk, I. B., 2010a. The effects of K-metasomatism in the Bahia Laura Volcanic Complex, Deseado Massif, Argentina: Petrologic and metallogenic consequences. *Chemical Geology* 273 (3-4): 300-313.
- Páez, G. N., Ruiz, R., Guido, D. M., Jovic, S. M., Schalamuk, I. B., 2010b. Estratigrafía volcánica del Yacimiento argentífero Mina Martha, Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67 (1): 77-90.
- Páez, G. N., Ruiz, R., Guido, D. M., Jovic, S. M., Schalamuk, I. B., 2011. Structurally controlled fluid flow: High-grade silver ore-shoots at Martha epithermal mine, Deseado Massif, Argentina. *J. Struct. Geol.* 33: 985-999.
- Pal'yanova, G.A., Savva, N.E., 2008. Some sulfides of gold and silver: composition, mineral assemblage, and conditions of formation. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering* 42:749-761.
- Pankhurst, R., Leat, P., Sruoga, P., Rapela, C., Marquez, M., Storey, B., Riley, T., 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 81: 113-136.
- Pankhurst, R. J., Riley, T. R., Fanning, C. M., Kelley, S. P., 2000. Episodic silicic volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the break-up of Gondwana. *Journal of Petrology* 41: 605-625.
- Pankhurst, R., Rapela, C., Loske, W., Fanning, C., 2001. Chronological study of the pre-Jurassic basement rocks of Southern Patagonia, Third South American Symposium on Isotope Geology 6 (CD-ROM), 6.
- Pankhurst, R. J., Rapela, C. W., Loske, W. P., Márquez, M., Fanning, C. M., 2003. Chronological study of the pre-Permian basement rocks of southern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 27-44.

- Pankhurst, R. J., Rapela C. W., Fanning, C. M., Márquez, M., 2006. Gondwanide continental collision and the origin of Patagonia. *Earth Science Reviews* 76: 235-257.
- Panza, J.L., Haller, M.J., 2002. El volcanismo jurásico. In: Haller, M.J. (Ed). *Geología y recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino*: 89-102.
- Passchier, C., Trouw, W. Y., 2005. *Microtectonics*. Springer. 371 p.
- Pentecost, A., 2005. *Travertine*. Springer, Berlin. 445 p.
- Permuy Vidal, C., Guido, D. M., Brown, G., 2012. The Marianas Epithermal Au-Ag vein system in the Cerro Negro district, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. SEG 2012 Conference, Lima, Peru: "Integrated Exploration and Ore Deposits". ISBN: 978-1-934969-41-0.
- Permuy Vidal, C., Zalazar, M., Guido, D. M., Brown, G., 2013a. The Mariana-San Marcos vein system: shallow features of epithermal Au-Ag deposits, Cerro Negro District, Deseado Massif, Argentina. *Mineral deposit research for a high-tech world, 12th SGA Biennial Meeting, Upsala*, p. 1303-1306.
- Permuy Vidal, C., Guido, D. M., Melgarejo, J.C., 2013b. Sulfuros y sulfosales de plata portadoras de selenio en el depósito epitermal Au-Ag Cerro Negro, Macizo del Deseado. *XI Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas*: 108-110. San Juan.
- Permuy Vidal, C., Moreira, P., Guido, D. M., Fanning, C. M. Linkages between the Southern Patagonia Pre-Permian basements: New insights from detrital zircons U-Pb SHRIMP ages from the Cerro Negro District. *Geologica Acta*. En prensa.
- Ramos, V. A., 2002. Evolución Tectónica. En: M. Haller (ed): *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino*. El Calafate, I-23: 235-387.
- Ramos, V. A., 2008. Patagonia: a Paleozoic continent adrift? *Journal of South American Earth Sciences* 26: 235-251.
- Ramos, V. A., Chemale, F., Naipauer, M., Pazos, P. J. A provenance study of the Paleozoic Ventania System (Argentina): Transient complex sources from Western and Eastern Gondwana. *Gondwana Research*. En prensa.
- Rapela, C. W., Pankhurst, R., 1996. Monzonite suites: the innermost Cordilleran plutonism of Patagonia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh* 87: 193-203.
- Richardson, N. J., Underhill, J., 2002. Controls on the structural architecture and sedimentary character of syn-rift sequences, North Falkland Basin, South Atlantic. *Marine and Petroleum Geology* 19: 417-443.
- Riley, T. R., Leat, P. T., Pankhurst, R. J., Harris, C., 2001. Origins of large volume rhyolitic volcanism in the Antarctic Peninsula and Patagonia by crustal melting: *Journal of Petrology*, 42: 1043-1065.
- Roedder, E., 1984. Fluid inclusions. *Reviews in Mineralogy*, 12, p. 644.
- Roser, B. P., Korsch, R. J., 1988. Provenance signatures of sandstone-mudstone suites determined using discriminant function analysis of major-element data. *Chemical Geology*. 67: 119-139.



- Rowland, J., Simmons, S., 2012. Hydrologic, Magmatic, and Tectonic Controls on Hydrothermal Flow, Taupo Volcanic Zone, New Zealand: Implications for the Formation of Epithermal Vein Deposits. *Economic Geology* 107: 427-457.
- Ruiz, R., 2012. Geología y mineralizaciones del sector sudoccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Tesis Doctoral Inédita. 314 p.
- Ruiz, R., Páez, G. N., Guido, D. M., Schalamuk, I. B., 2008. Ambiente Volcánico y Mineralizaciones del Área Cerro Iro de Abril, Sector Sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 897-898. Jujuy, Argentina.
- Rudnick, R.L., Gao, S., 2003. The composition of the continental crust. In: Rudnick, R.L. (Ed.), *The Crust*. Elsevier-Pergamon, Oxford, pp. 1-64.
- Sanematsu, K., Watanabe, K., Duncan, R., Izawa, E., 2004. Mineralization ages using  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  dating and the precipitation of gold in the Hishikari epithermal gold deposit, Japan. In: International Association of Volcanology and Chemistry Earth's Interior (IAVCEI) General Assembly, Pucón, Chile. Abstr (CD-Rom).
- Saunders, J. A., 1996. Retardation of boiling and the genesis of shallow bonanza epithermal gold deposits: evidence from the Sleeper deposit, Nevada: Geological Society of America, Abstracts with Programs, Denver Col., A-94.
- Saunders, J. A., Unger, D. L., Kamenov, G. D., Hames, W. E., Utterback, W. C., 2008. Genesis of mid-Miocene Yellowstone-hotspot-related bonanza epithermal Au-Ag deposits, Northern Great Basin region, USA. *Mineralium Deposita* 43: 715-734.
- Scaini, M. J., Bancroft, G. M., Lorimer, J. W., Maddox, L. M., 1995. The interaction of aqueous silver species with sulphur-containing minerals as studied by XPS, AES, SEM, and electrochemistry: *Geochimica et Cosmochimica Acta* 59: 2733-2747.
- Schalamuk, I., Zubia M., Genini A., Fernández, R., 1997. Jurassic epithermal Au-Ag deposits of Patagonia, Argentina. *Ore Geology Reviews* 12 (3): 173-186.
- Schalamuk, I., de Barrio, R., Zubia, M., Genini, A., Echeveste, H., 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. En: *Recursos Minerales de la República Argentina* (Ed. E. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188.
- Schalamuk, I. B., Ríos, F. J., de Barrio, R. E., Moreira, P., Fuzikawa, K., Echeveste, H., Cunningham, C., Vieira Alves, J. 2005. Mineralized fluids related to Au-Ag ores in selected districts of epithermal province Macizo del Deseado, Southern Patagonia, Argentina. 16° Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 355-360, La Plata.
- Schinteie, R., Campbell, K. A., Browne, P. R. L., 2007. Microfacies of stromatolitic sinter from acid-sulphate-chloride springs at Parariki Stream, Rotokawa geothermal field, New Zealand. *Palaeontologia Electronica* 10(1/4A),33. [www.palaeo-electronica.org/2007\\_1/sinter/index.html](http://www.palaeo-electronica.org/2007_1/sinter/index.html).
- Sekine, R., Izawa, E., Watanabe, K., 2002. Timing of fracture formation of mineralization at the Hishikari deposit, southern Kyushu, Japan. *Resource Geology* 52: 395-404.

- Seward, T. M., 1973. Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37: 379-399.
- Seward T.M., 1989. The hydrothermal chemistry of gold and its implications for ore formation; boiling and conductive cooling as examples. *Economic Geology Monograph*, 6: 398-404.
- Seward, T. M., Barnes, H. L. 1997. Metal transport by hydrothermalore fluids. En: Barnes HL (Ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, 3rd edn. Wiley, New York, p. 435-486.
- Sharpe, R., Riveros, C., Scavuzzo, V., 2002. Stratigraphy of the Chon Aike Formation ignimbrite sequence in the Cerro Vanguardia Au-Ag epithermal vein district. 15 Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 370-375, El Calafate.
- Shatwell, D., Clifford, J. A., Echavarría, D., Irusta, G., Lopez, D., 2011. Discoveries of low-sulfidation epithermal Au–Ag veins at Cerro Negro, Deseado Massif, Argentina: SEG Newsletter 85: 16–23.
- Sheets, R. W., Craig, J. R., Bodnar, R. J., 1995. Composition and occurrence of electrum at the Morning Star deposit, San Bernardino County, California: Evidence for remobilization of gold and silver: *Canadian Mineralogist* 33: 137-151.
- Sheppard, S., Gilg, H., 1996. Stable isotope geochemistry of clay minerals. *Clay Mineralogist* 1-24.
- Sibson, R.H., 1986. Brecciation processes in fault zones: inferences from earthquake rupturing. *Pure and Applied Geophysics* 124: 159-175.
- Sillitoe, R. H., 1989. Gold deposits in the western Pacific Island arcs: The magmatic connection. *Economic Geology Monogr.* 6: 274-291.
- Sillitoe, R. H., 1993. Epithermal Models: Genetic types, geometrical controls and shallow features. En: Kirkham, Sinclair, Thorpe and Duke (editors), *Mineral Deposits Modelling: Geological Association of Canada, Special Paper* 40: 403-417.
- Sillitoe, R. H., 2005. Supergene oxidized and enriched porphyry copper and related deposits. In: Hedenquist JW, Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, pp 723-768.
- Sillitoe, R. H., Hedenquist, J. W. 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits. *Giggenbach Volume, Society of Economic Geologists and Geochemical Society, Special Publication* 10, S.F. Simmons ed. Cap 16.
- Sillitoe, R. H., Baker, E. M., Brook, W. A., 1984. Gold deposits and hydrothermal eruption breccias associated with a maar volcano at Wau, Papua New Guinea. *Economic Geology* 79: 655-683.
- Simmons, S. F., Christenson, B. W., 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system. *American Journal of Science* 294: 361–400.
- Simmons, S. F., Browne, P.R.L., 2000. Hydrothermal Minerals and Precious Metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System: Implications for Understanding Low-Sulfidation Epithermal Environments. *Economic Geology* 95: 971-999.
- Simmons, S. F., White, N. C., John, D. A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits, Society of Economic Geologists, *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 485-522.

- Simon, G., Kesler, S.E., Essene, E.J. 1997. Phase relations among selenides, sulphides, tellurides, and oxides: II. Applications to selenide-bearing ore deposits. *Economic Geology* 92: 468-484.
- Simpson, M. P., Mauk, J. L., 2007. The Favona Epithermal Gold-Silver Deposit, Waihi, New Zealand. *Economic Geology* 102: 817-839.
- Simpson, M. P., Mauk, J. L., 2011. Hydrothermal Alteration and Veins at the Epithermal Au-Ag Deposits and Prospects of the Waitekauri Area, Hauraki Goldfield, New Zealand. *Economic Geology*. 106: 945-973.
- Sruoga, P., Japas, S., Salani, F., Kleiman, L., 2008. Caldera La Peligrosa (47°15'S, 71°40'O): Un evento clave en la provincia silícea ChonAike. *Actas del XVIII Congreso Geológico Argentino*: 903-904. Jujuy.
- Stefansson, A., Seward, T. M., 2004. Gold (I) complexing in aqueous sulfide solutions to 500°C and 500 bar. *Geochimica et Cosmochimical Acta* 68: 4121-4143.
- Tera, F., Wasserburg, G. J., 1972. U-Th-Pb systematic in three Apollo 14 basalts and the problem of initial Pb in lunar rocks. *Earth and Planetary Science Letters* 14: 281-304.
- Thompson, S. N., Hervé, F., 2002. New time constraints for the age of metamorphism at the ancestral Pacific Gondwana margin of southern Chile (42–52° S). *Revista Geológica de Chile* 29: 255-271.
- Unger, D. L., 2008. Geochronology and geochemistry of mid-Miocene bonanza low-sulfidation epithermal ores of the northern Great Basin, USA. Unpublished MS thesis, Auburn University, 133 p.
- Uriz, N. J., Cingolani, C. A., Chemale Jr, F., Macambira, M. B., Armstrong, R., 2011. Isotopic studies on detrital zircons of Silurian–Devonian siliciclastic sequences from Argentinean North Patagonia and Sierra de la Ventana regions: comparative provenance. *International Journal of Earth Sciences (GeolRundsch)* 100: 571-589.
- Varela, R., Basei, M. A. S., Cingolani, C. A., Siga, O., Passarelli, C. R., 2005. El basamento cristalino de los Andes Norpatagónicos en Argentina: geocronología e interpretación tectónica. *Revista Geológica de Chile* 32 (2): 167-187.
- Varela, R., González, P. D., Basei, M. A. S., Sato, K., Sato, A. M., Naipauer, M., García, V. A., González, S., Greco, G., 2011. Edad del Complejo Mina Gonzalito: revisión y nuevos datos. *XVIII Congreso Geológico Argentino*. S1 (Neuquén).
- Vikre, P. G., Mckee, E. H., Silberman, M. L., 1988. Chronology of Miocene hydrothermal activity and igneous events in the western Virginia Range, Washoe, Storey and Lyon Counties, Nevada. *Economic Geology* 83: 864-874.
- Wallier, S., 2009. The geology and evolution of the Manantial Espejo epithermal silver (+gold) deposit, Deseado Massif, Argentina. Tesis Doctoral de la University of British Columbia, Vancouver. 303p. Inédito. Disponible en: <http://circle.ubc.ca/handle/2429/17439>.
- Warmada, I. W., Lehmann, B., Simandjuntak, M., 2003. Polymetallic sulfides and sulfosalts of the Pongkor epithermal gold–silver deposit, West Java, Indonesia. *Canadian Mineralogist* 41: 185-200.

- Warren, I., 2005, Geology, geochemistry, and genesis of the El Peñón epithermal Au-Ag deposit, northern Chile: Characteristics of a bonanza-grade deposit and techniques for exploration: Unpublished Ph.D. thesis, New Zealand, University of Auckland, 428 p.
- White, N., Hedenquist, J., 1995. Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration, Society of Economic Geologists Newsletter 23 (1): 9-13.
- Williams, I.S., 1998. U-Th-Pb Geochronology by Ion Microprobe. In: McKibben, M.A., Shanks III, W.C.; Ridley, W.I. (Eds), Applications of microanalytical techniques to understanding mineralizing processes, Reviews in Economic Geology 7: 1-35.
- Winchester, J. A., Floyd, P. A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology 20: 325-343.
- Youngson, J., Wopereis, P., Kerr, L. C., Craw, D. 2002. Au-Ag-Hg and Au-Ag alloys in Nokomai and Nevis valley placers, northern Southland and Central Otago, New Zealand, and their implications for placer-source relationships. New Zealand Journal of Geology and Geophysics 45: 53-69.
- Zheng, Y. F., 1993. Calculation of oxygen isotope fractionation in anhydrous silicate minerals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57: 1079-1091.

# ANEXO A

Geoquímica de Rocas



ALS Argentina  
Altos Hornos Zapla 1605  
Godoy Cruz  
Mendoza MD  
Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 1  
Finalized Date: 22-APR-2013  
Account: RPLT

## QC CERTIFICATE ME13063017

### Project:

P.O. No.: VZ\_13001

This report is for 1 Drill Core sample submitted to our lab in Mendoza, MD, Argentina on 15-APR-2013.

The following have access to data associated with this certificate:

MÓNICA ARRESE  
MIGUEL MARTIN

ANALIA BRUNA

DAMIAN ECHAVARRIA

## SAMPLE PREPARATION

ALS CODE	DESCRIPTION
WEI-21	Received Sample Weight
LOG-22	Sample login - Rcd w/o BarCode
CRU-31	Fine crushing - 70% <2mm
SPL-21	Split sample - riffle splitter
PUL-31	Pulverize split to 85% <75 um
CRU-QC	Crushing QC Test
PUL-QC	Pulverizing QC Test

## ANALYTICAL PROCEDURES

ALS CODE	DESCRIPTION	INSTRUMENT
ME-XRF26	Whole Rock By Fusion/XRF	XRF
OA-GRA05x	LOI for XRF	WST-SEQ
ME-MS42	Up to 34 elements by ICP-MS	ICP-MS
S-IR08	Total Sulphur (Leco)	LECO
C-IR07	Total Carbon (Leco)	LECO
ME-MS81	Lithium Borate Fusion ICP-MS	ICP-MS
ME-4ACD81	Base Metals by 4-acid dig.	ICP-AES

To: OROPLATA S.A.  
ATTN: MÓNICA ARRESE  
AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

This is the Final Report and supersedes any preliminary report with this certificate number. Results apply to samples as submitted. All pages of this report have been checked and approved for release.

\*\*\*\*\* See Appendix Page for comments regarding this certificate \*\*\*\*\*

Signature:

Colin Ramshaw, Vancouver Laboratory Manager





ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 2 - A  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

## QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-XRF26 Al2O3 %	ME-XRF26 BaO %	ME-XRF26 CaO %	ME-XRF26 Cr2O3 %	ME-XRF26 Fe2O3 %	ME-XRF26 K2O %	ME-XRF26 MgO %	ME-XRF26 MnO %	ME-XRF26 Na2O %	ME-XRF26 P2O5 %	ME-XRF26 SiO2 %	ME-XRF26 SrO %	ME-XRF26 TiO2 %	OA-GRA05x LOI 1000 %	ME-XRF26 Total %
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01
STANDARDS																
GBM908-10																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
GBM908-10																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MA-1b																
MA-1b																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MA-1b																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MRGeo08																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MRGeo08																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
OREAS-104																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SARM-45		26.2	0.09	0.75	0.04	12.51	3.08	3.48	0.09	0.79	0.08	49.1	0.01	1.83		99.37
Target Range - Lower Bound		25.4	0.08	0.75	0.02	12.21	3.01	3.28	0.08	0.79	0.06	48.1	<0.01	1.72		97.99
Upper Bound		27.0	0.12	0.81	0.06	12.99	3.35	3.50	0.12	0.89	0.10	51.2	0.03	1.92		102.00
SARM-45															0.97	
Target Range - Lower Bound															0.91	
Upper Bound															1.03	
SY-4		20.7	0.04	7.90	<0.01	6.19	1.63	0.56	0.11	7.13	0.13	49.7	0.14	0.29		99.57
Target Range - Lower Bound		20.1	0.02	7.80	<0.01	6.01	1.57	0.51	0.09	6.74	0.11	48.4	0.11	0.26		97.31
Upper Bound		21.3	0.06	8.30	0.02	6.41	1.75	0.57	0.13	7.47	0.15	51.4	0.17	0.31		101.30
SY-4															4.50	
Target Range - Lower Bound															4.32	
Upper Bound															4.80	
TRHB																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
UTS-1																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 2 - B  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

## QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Ba ppm 0.5	ME-MS81 Ce ppm 0.5	ME-MS81 Cr ppm 10	ME-MS81 Cs ppm 0.01	ME-MS81 Dy ppm 0.05	ME-MS81 Er ppm 0.03	ME-MS81 Eu ppm 0.03	ME-MS81 Ga ppm 0.1	ME-MS81 Gd ppm 0.05	ME-MS81 Hf ppm 0.2	ME-MS81 Ho ppm 0.01	ME-MS81 La ppm 0.5	ME-MS81 Lu ppm 0.01	ME-MS81 Nb ppm 0.2	ME-MS81 Nd ppm 0.1
STANDARDS																
GBM908-10																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
GBM908-10																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MA-1b																
MA-1b																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MA-1b																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MRGeo08																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MRGeo08																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
OREAS-104		1350	106.5	50	4.06	7.63	4.06	1.30	26.1	9.45	7.6	1.49	50.0	0.53	29.8	52.7
Target Range - Lower Bound		1160	91.3	30	3.55	6.35	3.48	1.13	22.8	8.41	6.1	1.21	43.4	0.42	26.3	44.5
Upper Bound		1415	112.5	80	4.36	7.87	4.32	1.45	28.1	10.40	7.9	1.51	54.2	0.54	32.6	54.6
SARM-45																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SARM-45																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SY-4																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SY-4																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
TRHB		90.9	1085	240	0.97	196.0	140.0	8.32	65.2	138.5	445	45.4	457	19.20	1875	446
Target Range - Lower Bound		85.0	962	190	0.89	173.0	129.0	7.44	57.5	120.5	385	38.7	411	16.80	1585	414
Upper Bound		105.0	1175	260	1.11	211	157.5	9.16	70.5	147.5	471	47.3	503	20.5	1940	506
UTS-1																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 2 - C  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

## QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Pr ppm 0.03	ME-MS81 Rb ppm 0.2	ME-MS81 Sm ppm 0.03	ME-MS81 Sn ppm 1	ME-MS81 Sr ppm 0.1	ME-MS81 Ta ppm 0.1	ME-MS81 Tb ppm 0.01	ME-MS81 Th ppm 0.05	ME-MS81 Tl ppm 0.5	ME-MS81 Tm ppm 0.01	ME-MS81 U ppm 0.05	ME-MS81 V ppm 5	ME-MS81 W ppm 1	ME-MS81 Y ppm 0.5	ME-MS81 Yb ppm 0.03
STANDARDS																
GBM908-10																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
GBM908-10																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MA-1b																
MA-1b																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MA-1b																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MRGeo08																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MRGeo08																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
OREAS-104		13.20	137.5	11.40	9	128.5	3.4	1.41	164.0	0.5	0.57	133.0	8	3	40.8	3.61
Target Range - Lower Bound		11.50	124.0	9.42	6	106.5	2.7	1.24	137.0	<0.5	0.50	113.5	6	<1	34.4	3.06
Upper Bound		14.10	152.0	11.60	11	130.5	3.6	1.54	167.5	1.5	0.64	138.5	27	5	43.1	3.80
SARM-45																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SARM-45																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SY-4																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SY-4																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
TRHB		125.0	640	120.5	128	168.5	135.0	29.4	202	0.5	21.5	56.0	<5	5	1200	140.0
Target Range - Lower Bound		110.0	577	111.5	112	154.5	116.0	27.0	186.5	<0.5	19.70	51.3	<5	4	1060	121.5
Upper Bound		134.0	705	136.5	140	189.5	142.0	33.0	228	1.0	24.1	62.8	15	8	1295	148.5
UTS-1																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 2 - D  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

## QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Zr ppm	ME-4ACD81 Ag ppm	ME-4ACD81 Cd ppm	ME-4ACD81 Co ppm	ME-4ACD81 Cu ppm	ME-4ACD81 Li ppm	ME-4ACD81 Mo ppm	ME-4ACD81 Ni ppm	ME-4ACD81 Pb ppm	ME-4ACD81 Sc ppm	ME-4ACD81 Zn ppm	ME-MS42 As ppm	ME-MS42 Bi ppm	ME-MS42 Hg ppm	ME-MS42 Sb ppm
		2	0.5	0.5	1	1	10	1	1	2	1	2	0.1	0.01	0.005	0.05
STANDARDS																
GBM908-10		3.1	1.6	26	3660	10	57	2150	2100	18	1085					
Target Range - Lower Bound		1.9	0.6	22	3370	<10	57	2030	1860	14	939					
Upper Bound		4.2	2.8	30	3890	30	71	2490	2280	20	1155					
GBM908-10													55.6	1.14	0.018	1.44
Target Range - Lower Bound													49.4	1.12	<0.005	1.06
Upper Bound													60.6	1.39	0.029	1.55
MA-1b																
MA-1b																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MA-1b																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
MRGeo08		4.7	2.1	20	643	30	14	696	1120	12	827					
Target Range - Lower Bound		3.2	1.2	17	586	<10	12	621	969	10	722					
Upper Bound		5.7	3.4	23	676	60	18	761	1190	15	886					
MRGeo08													32.5	0.73	0.070	3.77
Target Range - Lower Bound													28.9	0.62	0.053	2.80
Upper Bound													35.5	0.78	0.087	3.90
OREAS-104		253														
Target Range - Lower Bound		215														
Upper Bound		267														
SARM-45																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SARM-45																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SY-4																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
SY-4																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
TRHB		>10000														
Target Range - Lower Bound		14200														
Upper Bound		>10000														
UTS-1																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 2 - E  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS42 Se ppm 0.2	ME-MS42 Te ppm 0.01	S-IR08 S % 0.01	C-IR07 C % 0.01
STANDARDS					
GBM908-10					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
GBM908-10		0.9	0.04		
Target Range - Lower Bound		0.5	0.02		
Upper Bound		1.3	0.07		
MA-1b					2.45
MA-1b					2.43
Target Range - Lower Bound					2.34
Upper Bound					2.54
MA-1b				1.17	
Target Range - Lower Bound				1.12	
Upper Bound				1.22	
MRGeo08					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
MRGeo08		1.6	0.02		
Target Range - Lower Bound		0.9	<0.01		
Upper Bound		1.9	0.04		
OREAS-104					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
SARM-45					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
SARM-45					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
SY-4					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
SY-4					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
TRHB					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
UTS-1				1.04	
Target Range - Lower Bound				0.95	
Upper Bound				1.05	



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 3 - A  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

## QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-XRF26 Al2O3 %	ME-XRF26 BaO %	ME-XRF26 CaO %	ME-XRF26 Cr2O3 %	ME-XRF26 Fe2O3 %	ME-XRF26 K2O %	ME-XRF26 MgO %	ME-XRF26 MnO %	ME-XRF26 Na2O %	ME-XRF26 P2O5 %	ME-XRF26 SiO2 %	ME-XRF26 SrO %	ME-XRF26 TiO2 %	OA-GRA05x LOI 1000 %	ME-XRF26 Total %
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01
BLANKS																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK		0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.02	<0.01	100.0	<0.01	0.01		100.05
Target Range - Lower Bound		<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	<0.01	<0.01		<0.01
Upper Bound		0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.10	0.02	0.02		0.02
BLANK																
Target Range - Lower Bound															0.010000000	
Upper Bound															0.020000000	
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
DUPLICATES																
ORIGINAL																
DUP																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
212271		16.20	0.07	1.30	0.01	6.79	3.01	2.27	0.08	1.96	0.17	62.8	0.01	0.76	3.64	99.48
DUP		16.15	0.07	1.29	0.01	6.72	2.99	2.27	0.08	1.94	0.17	62.5	0.01	0.76	3.68	99.00
Target Range - Lower Bound		15.90	0.06	1.27	<0.01	6.64	2.92	2.23	0.07	1.89	0.16	61.7	<0.01	0.73	3.56	98.24
Upper Bound		16.45	0.08	1.32	0.02	6.87	3.09	2.31	0.09	2.01	0.18	63.6	0.02	0.79	3.76	100.25





ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 3 - B  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

## QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Ba ppm 0.5	ME-MS81 Ce ppm 0.5	ME-MS81 Cr ppm 10	ME-MS81 Cs ppm 0.01	ME-MS81 Dy ppm 0.05	ME-MS81 Er ppm 0.03	ME-MS81 Eu ppm 0.03	ME-MS81 Ga ppm 0.1	ME-MS81 Gd ppm 0.05	ME-MS81 Hf ppm 0.2	ME-MS81 Ho ppm 0.01	ME-MS81 La ppm 0.5	ME-MS81 Lu ppm 0.01	ME-MS81 Nb ppm 0.2	ME-MS81 Nd ppm 0.1
BLANKS																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK		<0.5	<0.5	<10	<0.01	<0.05	<0.03	<0.03	<0.1	<0.05	<0.2	<0.01	<0.5	<0.01	<0.2	<0.1
Target Range - Lower Bound		<0.5	<0.5	<10	<0.01	<0.05	<0.03	<0.03	<0.1	<0.05	<0.2	<0.01	<0.5	<0.01	<0.2	<0.1
Upper Bound		1.0	1.0	20	0.02	0.10	0.06	0.06	0.2	0.10	0.4	0.02	1.0	0.02	0.4	0.2
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
DUPLICATES																
ORIGINAL		25.9	6.5	10	0.31	0.40	0.32	0.13	13.3	0.47	5.7	0.10	4.1	0.12	2.6	2.5
DUP		25.4	6.3	10	0.32	0.43	0.30	0.15	13.1	0.44	4.9	0.09	3.9	0.12	2.6	2.5
Target Range - Lower Bound		23.9	5.6	<10	0.29	0.34	0.26	0.10	12.4	0.38	4.8	0.08	3.3	0.10	2.3	2.3
Upper Bound		27.4	7.2	20	0.34	0.49	0.36	0.18	14.0	0.53	5.8	0.11	4.7	0.14	2.9	2.7
212271																
DUP																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 3 - C  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

## QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Pr ppm 0.03	ME-MS81 Rb ppm 0.2	ME-MS81 Sm ppm 0.03	ME-MS81 Sn ppm 1	ME-MS81 Sr ppm 0.1	ME-MS81 Ta ppm 0.1	ME-MS81 Tb ppm 0.01	ME-MS81 Th ppm 0.05	ME-MS81 Tl ppm 0.5	ME-MS81 Tm ppm 0.01	ME-MS81 U ppm 0.05	ME-MS81 V ppm 5	ME-MS81 W ppm 1	ME-MS81 Y ppm 0.5	ME-MS81 Yb ppm 0.03
BLANKS																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK		<0.03	<0.2	<0.03	<1	0.1	<0.1	<0.01	<0.05	<0.5	<0.01	<0.05	<5	<1	<0.5	<0.03
Target Range - Lower Bound		<0.03	<0.2	<0.03	<1	<0.1	<0.1	<0.01	<0.05	<0.5	<0.01	<0.05	<5	<1	<0.5	<0.03
Upper Bound		0.06	0.4	0.06	2	0.2	0.2	0.02	0.10	1.0	0.02	0.10	10	2	1.0	0.06
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
DUPLICATES																
ORIGINAL		0.74	3.0	0.43	1	8.3	0.2	0.07	1.43	<0.5	0.06	0.95	90	1	2.4	0.52
DUP		0.73	2.9	0.49	1	7.6	0.1	0.07	1.33	<0.5	0.07	0.89	98	1	2.2	0.51
Target Range - Lower Bound		0.67	2.6	0.41	<1	7.5	<0.1	0.06	1.26	<0.5	0.05	0.82	84	<1	1.7	0.46
Upper Bound		0.80	3.3	0.51	2	8.4	0.2	0.08	1.50	1.0	0.08	1.02	104	2	2.9	0.57
212271																
DUP																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 3 - D  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

## QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Zr ppm 2	ME-4ACD81 Ag ppm 0.5	ME-4ACD81 Cd ppm 0.5	ME-4ACD81 Co ppm 1	ME-4ACD81 Cu ppm 1	ME-4ACD81 Li ppm 10	ME-4ACD81 Mo ppm 1	ME-4ACD81 Ni ppm 1	ME-4ACD81 Pb ppm 2	ME-4ACD81 Sc ppm 1	ME-4ACD81 Zn ppm 2	ME-MS42 As ppm 0.1	ME-MS42 Bi ppm 0.01	ME-MS42 Hg ppm 0.005	ME-MS42 Sb ppm 0.05
BLANKS																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK		<0.5	<0.5	<1	<1	<10	<1	<1	<2	<1	<2					
Target Range - Lower Bound		<0.5	<0.5	<1	<1		<1	<1	<2		<2					
Upper Bound		1.0	1.0	2	2		2	2	4		4					
BLANK													<0.1	<0.01	<0.005	<0.05
Target Range - Lower Bound													<0.1	<0.01	<0.005	<0.05
Upper Bound													0.2	0.02	0.010	0.10
BLANK		<2														
Target Range - Lower Bound		<2														
Upper Bound		4														
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
BLANK																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																
DUPLICATES																
ORIGINAL		211														
DUP		185														
Target Range - Lower Bound		186														
Upper Bound		210														
212271																
DUP																
Target Range - Lower Bound																
Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 3 - E  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS42 Se ppm 0.2	ME-MS42 Te ppm 0.01	S-IR08 S % 0.01	C-IR07 C % 0.01
BLANKS					
BLANK					<0.01
Target Range - Lower Bound					<0.01
Upper Bound					0.02
BLANK					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
BLANK		<0.2	<0.01		
Target Range - Lower Bound		<0.2	<0.01		
Upper Bound		0.4	0.02		
BLANK					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
BLANK					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
BLANK				0.01	
Target Range - Lower Bound				<0.01	
Upper Bound				0.02	
DUPLICATES					
ORIGINAL					
DUP					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					
212271					
DUP					
Target Range - Lower Bound					
Upper Bound					



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 4 - A  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

**QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017**

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-XRF26 Al2O3 %	ME-XRF26 BaO %	ME-XRF26 CaO %	ME-XRF26 Cr2O3 %	ME-XRF26 Fe2O3 %	ME-XRF26 K2O %	ME-XRF26 MgO %	ME-XRF26 MnO %	ME-XRF26 Na2O %	ME-XRF26 P2O5 %	ME-XRF26 SiO2 %	ME-XRF26 SrO %	ME-XRF26 TiO2 %	OA-GRA05x LOI 1000 %	ME-XRF26 Total %
		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01
ORIGINAL DUP Target Range - Lower Bound Upper Bound	DUPLICATES															
ORIGINAL DUP Target Range - Lower Bound Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 4 - B  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

**QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017**

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Ba ppm 0.5	ME-MS81 Ce ppm 0.5	ME-MS81 Cr ppm 10	ME-MS81 Cs ppm 0.01	ME-MS81 Dy ppm 0.05	ME-MS81 Er ppm 0.03	ME-MS81 Eu ppm 0.03	ME-MS81 Ga ppm 0.1	ME-MS81 Gd ppm 0.05	ME-MS81 Hf ppm 0.2	ME-MS81 Ho ppm 0.01	ME-MS81 La ppm 0.5	ME-MS81 Lu ppm 0.01	ME-MS81 Nb ppm 0.2	ME-MS81 Nd ppm 0.1
ORIGINAL DUP Target Range - Lower Bound Upper Bound	DUPLICATES															
ORIGINAL DUP Target Range - Lower Bound Upper Bound																





ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 4 - C  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

**QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017**

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Pr ppm 0.03	ME-MS81 Rb ppm 0.2	ME-MS81 Sm ppm 0.03	ME-MS81 Sn ppm 1	ME-MS81 Sr ppm 0.1	ME-MS81 Ta ppm 0.1	ME-MS81 Tb ppm 0.01	ME-MS81 Th ppm 0.05	ME-MS81 Tl ppm 0.5	ME-MS81 Tm ppm 0.01	ME-MS81 U ppm 0.05	ME-MS81 V ppm 5	ME-MS81 W ppm 1	ME-MS81 Y ppm 0.5	ME-MS81 Yb ppm 0.03
ORIGINAL DUP Target Range - Lower Bound Upper Bound	DUPLICATES															
ORIGINAL DUP Target Range - Lower Bound Upper Bound																



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 4 - D  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

**QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017**

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS81 Zr ppm 2	ME-4ACD81 Ag ppm 0.5	ME-4ACD81 Cd ppm 0.5	ME-4ACD81 Co ppm 1	ME-4ACD81 Cu ppm 1	ME-4ACD81 Li ppm 10	ME-4ACD81 Mo ppm 1	ME-4ACD81 Ni ppm 1	ME-4ACD81 Pb ppm 2	ME-4ACD81 Sc ppm 1	ME-4ACD81 Zn ppm 2	ME-MS42 As ppm 0.1	ME-MS42 Bi ppm 0.01	ME-MS42 Hg ppm 0.005	ME-MS42 Sb ppm 0.05
ORIGINAL DUP Target Range - Lower Bound Upper Bound	DUPLICATES															
ORIGINAL DUP Target Range - Lower Bound Upper Bound		<0.5 <0.5	<0.5 <0.5	5 5	214 219	10 10	4 4	136 134	6 7	2 2	7 7	<0.1 <0.1	0.13 0.13	0.016 0.012	0.23 0.23	
		<0.5 1.0	<0.5 1.0	4 6	208 225	<10 20	3 5	127 143	4 9	<1 3	5 9	<0.1 0.2	0.11 0.15	0.008 0.020	0.16 0.30	



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: 4 - E  
 Total # Pages: 4 (A - E)  
 Plus Appendix Pages  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME-MS42 Se ppm 0.2	ME-MS42 Te ppm 0.01	S-IR08 S % 0.01	C-IR07 C % 0.01
DUPLICATES					
ORIGINAL				0.20	0.99
DUP				0.20	0.98
Target Range - Lower Bound				0.19	0.95
Upper Bound				0.22	1.02
ORIGINAL		0.5	0.01		
DUP		0.6	0.01		
Target Range - Lower Bound		0.3	<0.01		
Upper Bound		0.8	0.02		



ALS Argentina  
 Altos Hornos Zapla 1605  
 Godoy Cruz  
 Mendoza MD  
 Phone: +54 (261) 431 9880 Fax: +54 (261) 432 4278  
 www.alsglobal.com

To: OROPLATA S.A.  
 AV. LEANDRO N. ALEM 855 PISO 27  
 CIUDAD DE BUENOS AIRES BA C1001AAD

Page: Appendix 1  
 Total # Appendix Pages: 1  
 Finalized Date: 22-APR-2013  
 Account: RPLT

**QC CERTIFICATE OF ANALYSIS ME13063017**

**CERTIFICATE COMMENTS**

**LABORATORY ADDRESSES**

Applies to Method:	Processed at ALS Mendoza located at Altos Hornos Zapla 1605, Godoy Cruz, Mendoza, MD, Argentina.			
	CRU-31	CRU-QC	LOG-22	PUL-31
	PUL-QC	SPL-21	WEI-21	
Applies to Method:	Processed at ALS Vancouver located at 2103 Dollarton Hwy, North Vancouver, BC, Canada.			
	C-IR07	ME-4ACD81	ME-MS42	ME-MS81
	ME-XRF26	OA-GRA05x	S-IR08	

# ANEXO B

Química Mineral

Análisis por microsonda electrónica

## Eureka

	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita
<b>Análisis</b>	143	144	148	149	150	151	155	156	164	180
<b>Muestra</b>	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK
<b>S W%</b>		14,14	13,82	14,40	12,77	12,92	14,75	15,14	14,19	14,65
<b>Fe W%</b>	0,00	0,03	0,03	0,01	0,05	0,13	0,07	0,08	0,08	0,03
<b>Cu W%</b>	5,74	5,88	6,27	5,87	6,12	6,71	6,69	6,81	6,48	6,76
<b>Zn W%</b>	0,01	0,00	0,05	0,04	0,00	0,07	0,00	0,00	0,02	0,30
<b>As W%</b>	8,00	7,93	4,91	7,09	6,96	7,19	4,38	4,57	4,74	4,53
<b>Se W%</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,41
<b>Ag W%</b>	69,23	69,24	67,88	70,19	71,99	71,64	70,57	70,91	71,39	69,61
<b>Sb W%</b>	0,07	0,48	3,57	0,75	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
<b>Pb W%</b>	0,06	0,05	0,00	0,03	0,00	0,00	0,13	0,13	0,04	0,00
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	96,98	97,75	96,53	98,38	97,89	98,66	96,59	97,70	96,94	96,29
<b>S at</b>	33,98	34,29	34,33	34,72	31,70	31,70	35,95	36,31	34,82	35,70
<b>Fe at</b>	0,00	0,05	0,04	0,02	0,08	0,18	0,09	0,11	0,12	0,05
<b>Cu at</b>	7,10	7,20	7,87	7,14	7,68	8,30	8,23	8,24	8,01	8,32
<b>Zn at</b>	0,02	0,00	0,06	0,04	0,00	0,08	0,00	0,00	0,02	0,36
<b>As at</b>	8,39	8,23	5,23	7,31	7,40	7,54	4,57	4,69	4,97	4,73
<b>Se at</b>	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,40
<b>Ag at</b>	50,44	49,91	50,14	50,28	53,15	52,20	51,12	50,55	52,04	50,44
<b>Sb at</b>	0,04	0,31	2,34	0,48	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
<b>Pb at</b>	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,05	0,05	0,01	0,00
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	100,01	100,01	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00	99,99	100,00



Eureka

	Pearceita	Pearceita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Acantita
<b>Análisis</b>	318	320	305	310	311	312	317	181	182	145
<b>Muestra</b>	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK
<b>S W%</b>	14,91	14,19	12,73	15,34	14,47	14,74	15,14	13,90	13,51	13,26
<b>Fe W%</b>	0,01	0,05	0,00	0,04	0,04	0,01	0,04	0,03	0,04	0,02
<b>Cu W%</b>	10,54	9,55	12,64	9,79	9,38	9,81	8,83	6,39	6,29	0,33
<b>Zn W%</b>	0,24	0,07	0,07	0,20	0,22	0,12	0,10	0,00	0,07	0,03
<b>As W%</b>	3,95	3,82	2,60	2,02	1,01	1,41	2,16	1,43	1,44	0,55
<b>Se W%</b>	0,00	0,00	0,87	0,17	0,07	0,07	0,00	0,03	0,01	0,00
<b>Ag W%</b>	65,34	65,44	64,51	63,75	64,59	63,03	66,68	68,56	69,50	81,81
<b>Sb W%</b>	1,53	1,53	2,64	5,79	8,89	7,95	5,06	7,38	7,34	0,00
<b>Pb W%</b>	0,00	0,08	0,28	0,26	0,06	0,00	0,08	0,01	0,14	0,00
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,56
<b>Sum W%</b>	96,52	94,73	96,34	97,36	98,73	97,14	98,09	97,73	98,34	96,56
<b>S at</b>	35,60	34,99	31,40	36,67	35,00	35,75	36,25	34,70	33,78	34,82
<b>Fe at</b>	0,02	0,07	0,00	0,05	0,05	0,02	0,05	0,04	0,05	0,02
<b>Cu at</b>	12,71	11,87	15,74	11,80	11,45	12,01	10,67	8,04	7,95	0,44
<b>Zn at</b>	0,28	0,08	0,09	0,23	0,26	0,15	0,12	0,00	0,08	0,04
<b>As at</b>	4,03	4,03	2,75	2,06	1,05	1,47	2,22	1,52	1,55	0,62
<b>Se at</b>	0,00	0,00	0,87	0,16	0,07	0,07	0,00	0,03	0,01	0,00
<b>Ag at</b>	46,39	47,94	47,33	45,28	46,45	45,45	47,47	50,82	51,68	63,84
<b>Sb at</b>	0,97	0,99	1,72	3,64	5,66	5,08	3,19	4,85	4,84	0,00
<b>Pb at</b>	0,00	0,03	0,11	0,10	0,02	0,00	0,03	0,00	0,05	0,00
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	100,01	99,99	100,01	100,00	100,00	100,00	99,99	100,01

Eureka

	Acantita	Acantita	Acantita	Acantita	Acantita	Acantita	Acantita	Acantita	Stromeyerita	Stromeyerita
<b>Análisis</b>	147	157	158	167	168	174	175	183	292	293
<b>Muestra</b>	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	21626-EK	53627-EK	53627-EK
<b>S W%</b>	13,50	13,81	13,96	14,72	14,71	14,09	12,55	15,97	15,99	14,07
<b>Fe W%</b>	0,06	0,01	0,00	0,03	0,01	0,12	0,00	0,10	0,02	0,03
<b>Cu W%</b>	0,36	0,59	0,74	0,45	0,46	0,12	0,15	0,75	44,45	39,59
<b>Zn W%</b>	0,00	0,07	0,03	0,06	0,00	0,64	0,08	0,04	0,02	0,06
<b>As W%</b>	0,13	0,12	0,31	0,05	0,23	0,39	0,37	0,19	0,06	0,13
<b>Se W%</b>	0,01	0,16	0,00	0,00	0,14	0,16	0,31	0,01	0,00	0,00
<b>Ag W%</b>	81,25	82,97	82,50	81,49	80,72	82,44	83,40	79,81	40,31	47,49
<b>Sb W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pb W%</b>	0,08	0,00	0,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
<b>Bi W%</b>	0,26	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18
<b>Sum W%</b>	95,64	97,74	97,70	96,80	96,27	97,95	96,86	96,87	100,86	101,61
<b>S at</b>	35,55	35,48	35,77	37,52	37,62	35,89	33,25	39,68	31,69	29,14
<b>Fe at</b>	0,09	0,01	0,00	0,04	0,02	0,17	0,00	0,15	0,03	0,03
<b>Cu at</b>	0,47	0,77	0,96	0,57	0,60	0,15	0,20	0,94	44,46	41,36
<b>Zn at</b>	0,00	0,09	0,04	0,08	0,01	0,79	0,10	0,05	0,02	0,06
<b>As at</b>	0,14	0,13	0,34	0,05	0,25	0,42	0,42	0,20	0,05	0,11
<b>Se at</b>	0,01	0,17	0,00	0,00	0,14	0,17	0,34	0,01	0,00	0,00
<b>Ag at</b>	63,60	63,35	62,83	61,74	61,37	62,41	65,69	58,97	23,75	29,22
<b>Sb at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pb at</b>	0,03	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
<b>Bi at</b>	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06
<b>Sum at</b>	99,99	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

Eureka

	Stromeyerita	Stromeyerita	Stromeyerita	Stromeyerita	Mckinstryita	Mckinstryita	Mckinstryita	Mckinstryita	Mckinstryita	Mckinstryita
<b>Análisis</b>	294	295	296	313	301	302	303	306	314	324
<b>Muestra</b>	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK	53627-EK
<b>S W%</b>	15,94	14,75	15,30	20,47	12,70	15,17	16,70	15,22	14,65	12,06
<b>Fe W%</b>	0,01	0,03	0,00	0,10	0,07	0,03	0,00	0,00	0,03	0,04
<b>Cu W%</b>	41,37	40,89	37,16	37,22	19,81	22,76	29,69	24,17	15,96	25,93
<b>Zn W%</b>	0,07	0,10	0,14	0,02	0,09	0,00	0,14	0,09	0,84	0,11
<b>As W%</b>	0,04	0,00	0,00	0,00	0,16	0,21	0,29	0,18	0,20	0,09
<b>Se W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,10	0,21	0,08	0,07	0,11	0,00	0,00
<b>Ag W%</b>	43,02	44,24	49,31	40,11	67,02	69,74	53,22	59,16	62,40	59,80
<b>Sb W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,25	0,00
<b>Pb W%</b>	0,00	0,01	0,10	0,22	0,00	0,00	0,00	0,07	0,12	0,12
<b>Bi W%</b>	0,00	0,37	0,63	0,02	0,18	0,00	0,01	0,00	0,00	0,80
<b>Sum W%</b>	100,45	100,38	102,63	98,27	100,24	108,01	100,13	99,00	94,46	98,94
<b>S at</b>	32,10	30,31	31,29	39,89	29,62	31,91	35,00	33,69	35,00	27,93
<b>Fe at</b>	0,01	0,04	0,00	0,12	0,09	0,04	0,00	0,00	0,04	0,05
<b>Cu at</b>	42,04	42,40	38,35	36,60	23,31	24,16	31,39	26,99	19,25	30,31
<b>Zn at</b>	0,07	0,10	0,14	0,02	0,11	0,00	0,15	0,10	0,98	0,12
<b>As at</b>	0,03	0,00	0,00	0,00	0,16	0,19	0,26	0,17	0,21	0,09
<b>Se at</b>	0,00	0,00	0,00	0,08	0,20	0,06	0,06	0,10	0,00	0,00
<b>Ag at</b>	25,75	27,03	29,98	23,23	46,46	43,61	33,14	38,92	44,32	41,18
<b>Sb at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,15	0,00
<b>Pb at</b>	0,00	0,00	0,03	0,07	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,04
<b>Bi at</b>	0,00	0,12	0,20	0,01	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	99,99	100,02	100,02	99,98	100,00	99,99	99,99	100,00



# Eureka

	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum
<i>Análisis</i>	179	297	298	299	307	308	321	322	323
<i>Muestra</i>	21626	53627	53627	53627	53627	53627	53627	53627	53627
<i>Cu W%</i>	0,09	3,48	3,98	4,31	0,16	1,61	0,09	0,07	0,00
<i>Ag W%</i>	42,95	23,34	23,94	26,49	26,29	33,06	41,99	40,21	44,40
<i>Au W%</i>	57,01	71,62	70,77	68,54	71,00	64,25	58,18	51,50	57,96
<i>Sum W%</i>	100,04	98,45	98,75	99,39	97,64	99,06	100,44	91,88	102,43
<i>Cu at</i>	0,20	8,64	9,73	10,25	0,42	3,85	0,21	0,17	0,00
<i>Ag at</i>	57,80	34,08	34,45	37,11	40,08	46,50	56,62	58,59	58,27
<i>Au at</i>	42,01	57,28	55,76	52,58	59,26	49,49	42,96	41,10	41,66
<i>Sum at</i>	100,01	100,00	99,94	99,94	99,76	99,84	99,79	99,86	99,93
	Plata nativa	Plata nativa							
<i>Análisis</i>	315	316							
<i>Muestra</i>	53627	53627							
<i>Cu W%</i>	0,14	0,23							
<i>Ag W%</i>	98,89	98,32							
<i>Au W%</i>	0,00	0,00							
<i>Sum W%</i>	99,22	98,66							
<i>Cu at</i>	0,24	0,39							
<i>Ag at</i>	99,59	99,51							
<i>Au at</i>	0,00	0,00							
<i>Sum at</i>	99,83	99,90							

# Eureka

	Galena	Galena	Galena
<b>Análisis</b>	169	170	300
<b>Muestra</b>	21626-EK	21626-EK	53627-EK
<b>S W%</b>	13,41	12,92	13,34
<b>Fe W%</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cu W%</b>	0,28	0,35	0,15
<b>Zn W%</b>	0,05	0,04	0,04
<b>As W%</b>	0,01	0,01	0,00
<b>Se W%</b>	0,00	0,00	0,02
<b>Ag W%</b>	0,07	0,04	0,03
<b>Sb W%</b>	0,02	0,05	0,00
<b>Pb W%</b>	84,55	83,00	86,19
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	98,38	96,40	99,78
<b>S at</b>	50,25	49,71	49,78
<b>Fe at</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Cu at</b>	0,53	0,67	0,29
<b>Zn at</b>	0,08	0,07	0,08
<b>As at</b>	0,02	0,01	0,00
<b>Se at</b>	0,00	0,00	0,03
<b>Ag at</b>	0,08	0,04	0,04
<b>Sb at</b>	0,02	0,05	0,00
<b>Pb at</b>	49,02	49,43	49,78
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	99,98	100,00

	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita
<b>Análisis</b>	171	172	173	178
<b>Muestra</b>	21626	21626	21626	21626-EK
<b>S W%</b>	32,67	32,42	32,61	31,98
<b>Fe W%</b>	0,06	0,03	0,40	0,62
<b>Cu W%</b>	0,09	0,06	0,09	0,30
<b>Zn W%</b>	66,07	66,55	65,62	64,53
<b>Cd W%</b>	0,28	0,22	0,36	-
<b>In W%</b>	0,04	0,01	0,00	-
<b>Sum W%</b>	99,22	99,29	99,07	97,43
<b>S at</b>	50,07	49,74	50,04	49,8
<b>Fe at</b>	0,06	0,02	0,35	0,55
<b>Cu at</b>	0,07	0,05	0,07	0,24
<b>Zn at</b>	49,66	50,08	49,39	49,29
<b>Cd at</b>	0,12	0,10	0,16	-
<b>In at</b>	0,02	0,00	0,00	-
<b>Sum W%</b>	100,00	99,99	100,01	99,88



Marianas - San Marcos

	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita
<b>Análisis</b>	6	7	9	10	11	23	24	87	92	100
<b>Muestra</b>	102059-MC	102059-MC	102059-MC	102059-MC	102059-MC	102059-MC	102059-MC	102059-MC	102059-MC	102059-MC
<b>S W%</b>	13,86	14,08	13,86	14,15	13,12	12,25	12,60	13,85	12,27	14,56
<b>Fe W%</b>	0,11	0,06	0,21	0,05	0,02	0,21	0,08	0,04	0,08	0,28
<b>Cu W%</b>	3,42	3,03	3,38	3,32	3,35	2,85	2,90	2,43	3,11	3,00
<b>Zn W%</b>	0,93	0,11	0,06	0,07	0,03	0,06	0,11	0,53	0,79	0,04
<b>As W%</b>	4,47	5,14	4,98	5,60	4,90	5,75	5,90	4,18	5,77	3,61
<b>Se W%</b>	2,80	2,44	2,37	2,30	2,28	4,66	4,53	2,25	2,81	1,73
<b>Ag W%</b>	70,08	71,20	70,38	71,15	73,30	72,52	71,20	70,89	73,66	70,61
<b>Sb W%</b>	2,96	2,89	3,49	1,55	2,85	1,11	1,25	2,79	1,72	5,53
<b>Pb W%</b>	0,07	0,12	0,00	0,09	0,04	0,00	0,00	0,00	0,08	0,07
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	98,69	99,06	98,73	98,29	99,90	99,41	98,58	96,96	100,30	99,42
<b>S at</b>	33,99	34,48	34,09	34,69	32,46	30,59	31,47	34,73	30,49	35,55
<b>Fe at</b>	0,16	0,09	0,30	0,07	0,03	0,30	0,12	0,06	0,12	0,39
<b>Cu at</b>	4,23	3,74	4,20	4,10	4,18	3,59	3,66	3,08	3,90	3,70
<b>Zn at</b>	1,11	0,14	0,07	0,08	0,04	0,08	0,14	0,65	0,97	0,05
<b>As at</b>	4,69	5,39	5,25	5,88	5,19	6,14	6,31	4,48	6,14	3,77
<b>Se at</b>	2,79	2,42	2,37	2,29	2,29	4,73	4,60	2,29	2,83	1,72
<b>Ag at</b>	51,09	51,84	51,47	51,85	53,92	53,84	52,88	52,86	54,40	51,25
<b>Sb at</b>	1,91	1,86	2,26	1,00	1,86	0,73	0,83	1,85	1,12	3,56
<b>Pb at</b>	0,03	0,04	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,03
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	100,01	99,99	99,98	100,00	100,01	100,00	100,00	100,02

Marianas - San Marcos

	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita
<b>Análisis</b>	114	115	120	121	122	108	125	126	127	128
<b>Muestra</b>	112666-MC	112666-MC	112666-MC	112666-MC	112666-MC	112666-MC	112666-MC	112666-MC	112666-MC	112666-MC
<b>S W%</b>	13,65	13,21	13,12	12,10	13,12	13,70	13,37	13,08	13,49	12,96
<b>Fe W%</b>	0,07	0,18	0,09	0,00	0,10	0,00	0,09	0,02	0,00	0,02
<b>Cu W%</b>	3,19	3,39	3,16	3,19	3,10	3,02	4,18	3,95	3,91	3,77
<b>Zn W%</b>	0,08	0,18	0,26	0,81	0,36	0,00	0,10	0,01	0,00	0,06
<b>As W%</b>	6,68	5,81	4,98	6,22	5,89	4,55	7,16	6,86	7,06	7,33
<b>Se W%</b>	0,87	1,00	0,91	0,87	0,97	0,94	0,16	0,00	0,00	0,03
<b>Ag W%</b>	71,71	72,78	75,21	74,97	72,19	73,33	73,53	73,46	73,62	72,92
<b>Sb W%</b>	1,65	1,72	1,85	0,77	2,16	4,03	0,38	0,66	0,61	0,28
<b>Pb W%</b>	0,10	0,00	0,01	0,10	0,00	0,02	0,00	0,00	0,09	0,00
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	98,00	98,26	99,59	99,04	97,89	99,60	98,97	98,04	98,79	97,37
<b>S at</b>	33,86	32,94	32,61	30,54	32,92	33,90	32,89	32,68	33,27	32,57
<b>Fe at</b>	0,11	0,26	0,13	0,00	0,15	0,00	0,13	0,03	0,00	0,03
<b>Cu at</b>	3,99	4,27	3,96	4,06	3,93	3,77	5,19	4,98	4,87	4,78
<b>Zn at</b>	0,09	0,22	0,31	1,00	0,44	0,00	0,12	0,02	0,00	0,08
<b>As at</b>	7,09	6,20	5,30	6,71	6,32	4,82	7,53	7,34	7,45	7,88
<b>Se at</b>	0,88	1,01	0,91	0,90	0,98	0,94	0,16	0,00	0,00	0,03
<b>Ag at</b>	52,87	53,97	55,56	56,23	53,83	53,93	53,74	54,54	53,98	54,45
<b>Sb at</b>	1,07	1,13	1,21	0,51	1,43	2,63	0,25	0,43	0,40	0,18
<b>Pb at</b>	0,04	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	99,99	99,99	100,00	100,00	100,01	100,02	100,00	100,00

Marianas - San Marcos

	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Pearceita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita
<b>Análisis</b>	29	30	337	345	367	78	79	93	130	32
<b>Muestra</b>	106980-SM	106980-SM	106042-SM	106042-SM	102828-MC	102059-MC	102059-MC	102059-MC	112666-MC	106980-SM
<b>S W%</b>	13,48	13,85	12,86	12,09	13,26	14,87	14,85	12,63	12,43	12,83
<b>Fe W%</b>	0,50	0,70	0,06	0,04	0,38	0,10	0,01	0,00	0,08	0,05
<b>Cu W%</b>	4,00	3,51	3,21	1,32	5,40	1,40	1,82	2,46	2,08	2,39
<b>Zn W%</b>	0,00	0,00	0,05	0,10	2,41	0,21	0,27	0,01	0,05	0,00
<b>As W%</b>	7,38	6,28	3,73	3,86	2,25	0,61	0,69	3,09	2,88	2,38
<b>Se W%</b>	3,31	3,02	2,26	2,27	2,51	1,44	1,31	2,80	0,80	1,08
<b>Ag W%</b>	70,04	71,40	73,60	71,75	68,14	70,39	70,16	70,87	72,09	72,48
<b>Sb W%</b>	0,31	0,09	1,41	1,42	2,35	10,73	10,09	5,79	6,39	7,33
<b>Pb W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,13
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	99,02	98,85	97,18	92,85	96,69	99,75	99,20	97,65	96,80	98,67
<b>S at</b>	32,73	33,63	32,73	32,58	32,95	36,87	36,90	32,44	32,53	32,88
<b>Fe at</b>	0,69	0,98	0,09	0,06	0,55	0,15	0,01	0,00	0,12	0,07
<b>Cu at</b>	4,90	4,30	4,12	1,79	6,77	1,75	2,28	3,18	2,74	3,09
<b>Zn at</b>	0,00	0,00	0,06	0,13	2,94	0,25	0,33	0,01	0,07	0,00
<b>As at</b>	7,67	6,52	4,06	4,45	2,40	0,65	0,73	3,40	3,23	2,61
<b>Se at</b>	3,26	2,98	2,33	2,49	2,53	1,45	1,32	2,92	0,85	1,12
<b>Ag at</b>	50,55	51,54	55,67	57,49	50,33	51,88	51,82	54,12	56,06	55,22
<b>Sb at</b>	0,20	0,06	0,94	1,01	1,54	7,01	6,60	3,92	4,40	4,95
<b>Pb at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	100,01	100,00	100,00	100,01	100,01	99,99	99,99	100,00	99,99

Marianas - San Marcos

	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita
<b>Análisis</b>	33	37	41	282	286	287	34	38	39	40
<b>Muestra</b>	106980-SM	106980-SM	106980-SM	79791-SM	79791-SM	79791-SM	106980-SM	106980-SM	106980-SM	106980-SM
<b>S W%</b>	14,17	13,71	13,38	11,67	12,20	12,56	14,77	11,87	12,87	14,83
<b>Fe W%</b>	0,06	0,01	0,02	0,04	0,00	0,13	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu W%</b>	1,92	2,78	2,16	1,56	1,59	1,78	1,79	2,10	2,14	2,01
<b>Zn W%</b>	0,05	0,06	0,00	0,03	0,03	0,03	0,06	0,10	0,00	0,00
<b>As W%</b>	0,83	2,04	0,74	0,14	0,38	0,34	0,67	0,63	0,56	0,84
<b>Se W%</b>	1,01	1,37	1,43	3,25	4,10	4,20	0,47	0,53	0,32	0,97
<b>Ag W%</b>	72,52	70,52	73,42	74,27	69,18	69,61	67,60	71,37	72,32	69,85
<b>Sb W%</b>	9,67	8,23	9,63	6,29	9,83	9,84	12,69	10,25	9,09	9,89
<b>Pb W%</b>	0,00	0,02	0,00	0,16	0,16	0,08	0,02	0,00	0,04	0,02
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,09	0,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,18	0,01
<b>Sum W%</b>	100,22	98,73	100,86	98,17	97,45	98,55	98,07	96,84	97,53	98,41
<b>S at</b>	35,36	34,53	33,67	30,92	32,08	32,46	37,29	31,75	33,65	37,10
<b>Fe at</b>	0,08	0,02	0,02	0,06	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Cu at</b>	2,42	3,53	2,74	2,09	2,10	2,33	2,27	2,83	2,83	2,54
<b>Zn at</b>	0,06	0,07	0,00	0,04	0,04	0,03	0,07	0,14	0,00	0,00
<b>As at</b>	0,89	2,19	0,80	0,16	0,43	0,37	0,72	0,72	0,63	0,90
<b>Se at</b>	1,03	1,40	1,46	3,50	4,38	4,40	0,48	0,57	0,34	0,98
<b>Ag at</b>	53,81	52,79	54,90	58,47	54,09	53,48	50,72	56,76	56,20	51,95
<b>Sb at</b>	6,35	5,46	6,38	4,39	6,81	6,70	8,44	7,22	6,26	6,52
<b>Pb at</b>	0,00	0,01	0,00	0,06	0,06	0,03	0,01	0,00	0,02	0,01
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,03	0,31	0,00	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00

Marianas - San Marcos

	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita
<b>Análisis</b>	288	359	360	328	334	335	338	344	349	329
<b>Muestra</b>	79791-SM	102828-MC	102828-MC	106042-SM	106042-SM	106042-SM	106042-SM	106042-SM	106042-SM	106042-SM
<b>S W%</b>	14,84	12,23	12,68	12,47	11,64	12,47	13,92	13,12	14,19	11,63
<b>Fe W%</b>	0,10	0,00	0,07	0,11	0,00	0,10	0,03	0,06	0,03	0,00
<b>Cu W%</b>	2,14	4,56	4,37	1,88	1,57	1,24	1,58	2,17	2,22	1,51
<b>Zn W%</b>	0,47	0,00	0,18	0,09	0,03	0,01	0,09	0,08	0,13	0,14
<b>As W%</b>	0,71	1,37	1,34	1,43	0,64	0,42	0,98	2,76	1,76	0,60
<b>Se W%</b>	0,62	3,27	2,74	1,90	1,49	1,43	2,77	1,74	2,15	0,71
<b>Ag W%</b>	69,46	68,47	69,14	72,06	74,45	74,11	69,60	70,55	69,60	75,94
<b>Sb W%</b>	9,24	2,99	4,31	4,67	7,90	9,59	9,70	3,01	6,93	9,55
<b>Pb W%</b>	0,00	0,31	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	97,58	93,20	94,89	94,61	98,26	99,36	98,67	93,48	96,99	100,08
<b>S at</b>	37,24	32,50	33,03	33,19	30,94	32,41	35,19	34,58	35,90	30,53
<b>Fe at</b>	0,15	0,00	0,11	0,17	0,01	0,14	0,05	0,09	0,04	0,00
<b>Cu at</b>	2,71	6,12	5,74	2,52	2,10	1,63	2,01	2,88	2,83	2,00
<b>Zn at</b>	0,58	0,00	0,23	0,12	0,04	0,01	0,12	0,10	0,16	0,18
<b>As at</b>	0,76	1,56	1,49	1,63	0,72	0,47	1,06	3,11	1,90	0,67
<b>Se at</b>	0,64	3,53	2,90	2,06	1,61	1,51	2,84	1,86	2,21	0,75
<b>Ag at</b>	51,82	54,08	53,52	57,03	58,83	57,27	52,28	55,29	52,34	59,25
<b>Sb at</b>	6,11	2,09	2,95	3,27	5,53	6,56	6,46	2,09	4,62	6,60
<b>Pb at</b>	0,00	0,13	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,01	100,01	99,99	99,99	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	99,98

Marianas - San Marcos

	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Polibasita	Tetrahedrite	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita
<b>Análisis</b>	330	342	199	207	205	230	82	83	86	272
<b>Muestra</b>	106042-SM	106042-SM	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83581-MN	102059-MC	102059-MC	102059-MC	79791-SM
<b>S W%</b>	11,11	10,86	8,22	11,50	13,42	12,45	20,99	22,13	22,93	22,00
<b>Fe W%</b>	0,20	0,05	0,23	0,06	0,06	0,12	3,41	3,99	4,17	2,06
<b>Cu W%</b>	1,35	1,34	1,24	1,90	1,86	1,93	19,76	23,19	23,75	24,15
<b>Zn W%</b>	0,11	0,04	0,08	0,23	0,03	0,32	3,13	2,38	2,41	4,47
<b>As W%</b>	0,58	0,56	0,77	1,39	1,59	0,68	1,81	4,31	3,37	0,47
<b>Se W%</b>	0,70	0,57	1,09	0,82	0,84	0,03	0,00	0,00	0,00	0,12
<b>Ag W%</b>	76,59	77,29	77,85	73,99	73,87	73,02	24,41	19,31	19,20	18,12
<b>Sb W%</b>	9,35	7,51	6,71	6,87	7,21	10,29	24,33	21,97	23,00	25,94
<b>Pb W%</b>	0,00	0,07	0,00	0,16	0,00	0,23	0,23	0,00	0,01	0,01
<b>Bi W%</b>	0,17	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	100,16	98,30	96,20	96,91	98,88	99,24	98,08	97,27	98,85	97,33
<b>S at</b>	29,43	29,33	23,68	30,78	34,17	32,39	42,90	43,68	44,34	43,98
<b>Fe at</b>	0,30	0,08	0,39	0,09	0,09	0,18	4,00	4,52	4,64	2,37
<b>Cu at</b>	1,81	1,83	1,81	2,57	2,39	2,53	20,38	23,10	23,18	24,36
<b>Zn at</b>	0,15	0,06	0,12	0,31	0,03	0,41	3,14	2,31	2,29	4,38
<b>As at</b>	0,66	0,64	0,95	1,59	1,73	0,75	1,58	3,64	2,79	0,40
<b>Se at</b>	0,75	0,62	1,27	0,89	0,87	0,03	0,00	0,00	0,00	0,09
<b>Ag at</b>	60,31	62,06	66,69	58,87	55,89	56,49	14,83	11,33	11,04	10,76
<b>Sb at</b>	6,52	5,35	5,09	4,84	4,83	7,05	13,09	11,42	11,72	13,65
<b>Pb at</b>	0,00	0,03	0,00	0,07	0,00	0,09	0,07	0,00	0,00	0,00
<b>Bi at</b>	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99



Marianas - San Marcos

	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita
<b>Análisis</b>	273	279	283	289	220	221	222	223	224	226
<b>Muestra</b>	79791-SM	79791-SM	79791-SM	79791-SM	83581-MN	83581-MN	83581-MN	83581-MN	83581-MN	83581-MN
<b>S W%</b>	22,18	22,49	22,41	21,72	20,03	19,81	21,17	19,68	21,17	18,86
<b>Fe W%</b>	2,05	3,02	4,79	3,63	4,56	4,81	4,30	4,60	3,01	3,79
<b>Cu W%</b>	24,30	23,92	23,41	23,17	14,04	13,79	18,96	13,38	17,79	13,96
<b>Zn W%</b>	4,57	3,57	0,98	2,60	1,36	1,13	1,96	1,35	3,53	1,82
<b>As W%</b>	0,56	0,65	0,63	0,55	0,98	1,41	0,91	1,21	0,64	0,90
<b>Se W%</b>	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ag W%</b>	18,02	18,27	19,01	19,60	33,74	34,69	26,31	34,86	26,84	35,19
<b>Sb W%</b>	25,35	25,16	25,95	24,97	25,08	23,89	25,23	23,29	26,06	22,04
<b>Pb W%</b>	0,03	0,20	0,22	0,07	0,01	0,00	0,00	0,05	0,19	0,09
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	97,14	97,29	97,40	96,31	99,80	99,54	98,85	98,42	99,23	96,66
<b>S at</b>	44,21	44,60	44,61	43,95	42,21	41,89	43,18	42,09	43,42	41,32
<b>Fe at</b>	2,35	3,44	5,47	4,22	5,51	5,84	5,03	5,65	3,54	4,77
<b>Cu at</b>	24,44	23,95	23,51	23,66	14,93	14,71	19,51	14,44	18,42	15,44
<b>Zn at</b>	4,47	3,48	0,96	2,58	1,40	1,17	1,96	1,41	3,55	1,96
<b>As at</b>	0,48	0,55	0,53	0,48	0,89	1,28	0,80	1,11	0,56	0,85
<b>Se at</b>	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Ag at</b>	10,68	10,77	11,25	11,79	21,13	21,80	15,96	22,16	16,37	22,92
<b>Sb at</b>	13,31	13,14	13,60	13,30	13,92	13,31	13,56	13,12	14,08	12,72
<b>Pb at</b>	0,01	0,06	0,07	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,06	0,03
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	100,00	100,01

Marianas - San Marcos

	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Tetrahedrita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita
<b>Análisis</b>	228	229	234	235	236	190	191	192	193	194
<b>Muestra</b>	83581-MN	83581-MN	83581-MN	83581-MN	83581-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN
<b>S W%</b>	22,28	21,97	21,87	21,82	21,29	15,85	16,13	15,86	16,01	15,89
<b>Fe W%</b>	2,69	2,80	2,19	2,32	2,14	0,10	0,13	0,02	0,03	0,04
<b>Cu W%</b>	23,22	22,95	22,25	22,28	19,96	0,50	0,44	0,57	0,11	0,03
<b>Zn W%</b>	4,12	4,17	4,78	4,68	4,13	0,11	0,08	0,00	0,00	0,12
<b>As W%</b>	2,14	1,89	1,22	0,48	1,15	0,40	0,32	1,09	0,36	0,56
<b>Se W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,27	0,29	0,24	0,30	0,29
<b>Ag W%</b>	20,68	21,64	21,39	21,28	27,17	58,16	59,05	59,12	58,58	57,76
<b>Sb W%</b>	22,63	23,64	24,10	26,40	21,89	22,36	21,72	20,77	22,46	22,86
<b>Pb W%</b>	0,12	0,05	0,00	0,04	0,03	0,00	0,03	0,17	0,11	0,19
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,37	0,00	0,33	0,00
<b>Sum W%</b>	97,88	99,10	97,80	99,30	97,78	97,98	98,57	97,82	98,28	97,74
<b>S at</b>	44,02	43,35	43,80	43,49	43,49	39,92	40,27	39,86	40,27	40,17
<b>Fe at</b>	3,05	3,17	2,52	2,65	2,51	0,14	0,19	0,03	0,04	0,05
<b>Cu at</b>	23,16	22,86	22,49	22,41	20,57	0,63	0,55	0,72	0,14	0,04
<b>Zn at</b>	4,00	4,04	4,70	4,57	4,14	0,13	0,10	0,00	0,00	0,15
<b>As at</b>	1,81	1,59	1,04	0,41	1,01	0,44	0,34	1,17	0,38	0,61
<b>Se at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,28	0,30	0,24	0,31	0,30
<b>Ag at</b>	12,15	12,69	12,74	12,61	16,50	43,54	43,82	44,17	43,81	43,40
<b>Sb at</b>	11,78	12,28	12,71	13,86	11,77	14,83	14,28	13,75	14,88	15,22
<b>Pb at</b>	0,04	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,07	0,04	0,07
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,14	0,00	0,13	0,00
<b>Sum at</b>	100,01	99,99	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,01

Marianas - San Marcos

	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita
<b>Análisis</b>	195	196	197	198	200	201	202	204	203	206
<b>Muestra</b>	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN
<b>S W%</b>	16,09	16,21	16,23	15,99	14,86	16,31	13,36	14,55	16,57	15,48
<b>Fe W%</b>	0,08	0,21	0,18	0,28	0,29	0,27	0,10	0,01	0,09	0,11
<b>Cu W%</b>	0,10	0,04	0,13	0,09	0,38	0,21	0,16	0,92	0,22	0,40
<b>Zn W%</b>	0,06	0,00	0,06	0,18	0,11	0,00	0,01	0,01	0,03	0,04
<b>As W%</b>	0,64	0,21	0,25	0,48	1,54	0,45	0,34	1,33	2,08	0,38
<b>Se W%</b>	0,27	0,13	0,29	0,14	0,14	0,37	0,27	0,21	0,03	0,11
<b>Ag W%</b>	58,88	57,89	58,72	58,67	59,90	57,57	56,22	66,46	59,21	61,19
<b>Sb W%</b>	22,39	22,48	23,06	22,08	18,40	21,70	23,91	14,47	19,14	21,30
<b>Pb W%</b>	0,15	0,15	0,04	0,10	0,05	0,14	0,02	0,04	0,00	0,18
<b>Bi W%</b>	0,00	0,99	0,35	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	98,66	98,32	99,29	98,03	95,69	97,01	94,52	98,00	97,38	99,19
<b>S at</b>	40,21	40,73	40,34	40,15	38,44	41,02	36,32	37,06	41,13	38,90
<b>Fe at</b>	0,12	0,30	0,25	0,41	0,43	0,40	0,15	0,02	0,12	0,16
<b>Cu at</b>	0,12	0,05	0,16	0,12	0,50	0,27	0,22	1,19	0,27	0,50
<b>Zn at</b>	0,07	0,00	0,08	0,23	0,15	0,00	0,02	0,02	0,04	0,05
<b>As at</b>	0,69	0,22	0,26	0,52	1,71	0,48	0,39	1,45	2,21	0,41
<b>Se at</b>	0,27	0,13	0,29	0,15	0,15	0,38	0,30	0,22	0,04	0,11
<b>Ag at</b>	43,73	43,24	43,37	43,79	46,07	43,04	45,42	50,32	43,68	45,70
<b>Sb at</b>	14,73	14,88	15,09	14,60	12,54	14,37	17,11	9,71	12,51	14,10
<b>Pb at</b>	0,06	0,06	0,01	0,04	0,02	0,05	0,01	0,01	0,00	0,07
<b>Bi at</b>	0,00	0,38	0,13	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,00	99,99	99,98	100,01	100,01	100,01	99,99	100,00	100,00	100,00

Marianas - San Marcos

	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita
<b>Análisis</b>	208	209	210	211	212	213	214	239	240	245
<b>Muestra</b>	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83604-MN	83581-MN	83581-MN	83581-MN
<b>S W%</b>	15,88	15,69	16,52	16,50	15,99	15,17	16,15	16,62	16,59	17,27
<b>Fe W%</b>	0,05	0,02	0,07	0,11	0,07	0,57	0,62	0,11	0,15	0,10
<b>Cu W%</b>	0,24	0,09	0,18	0,17	0,22	0,12	0,04	0,16	0,17	0,11
<b>Zn W%</b>	0,08	0,07	0,06	0,07	0,11	0,05	0,08	0,43	0,48	0,00
<b>As W%</b>	1,30	0,89	1,86	0,86	0,86	1,00	0,85	0,43	0,37	0,48
<b>Se W%</b>	0,06	0,01	0,20	0,06	0,21	0,11	0,16	0,58	0,46	0,31
<b>Ag W%</b>	59,52	59,89	59,38	58,40	58,92	60,44	59,47	59,86	59,33	59,41
<b>Sb W%</b>	19,42	20,52	18,82	21,69	20,63	20,81	21,16	22,13	22,00	23,08
<b>Pb W%</b>	0,19	0,00	0,01	0,15	0,00	0,14	0,00	0,17	0,07	0,14
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	0,42	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	96,75	97,19	97,10	98,01	97,10	98,41	98,54	100,91	99,63	100,90
<b>S at</b>	40,20	39,84	41,14	41,08	40,37	38,39	40,13	40,43	40,67	41,64
<b>Fe at</b>	0,07	0,03	0,10	0,15	0,10	0,83	0,88	0,16	0,21	0,14
<b>Cu at</b>	0,31	0,12	0,23	0,21	0,28	0,16	0,05	0,20	0,21	0,14
<b>Zn at</b>	0,10	0,09	0,07	0,09	0,13	0,06	0,10	0,51	0,58	0,00
<b>As at</b>	1,41	0,97	1,99	0,92	0,93	1,09	0,90	0,44	0,39	0,49
<b>Se at</b>	0,07	0,01	0,20	0,06	0,22	0,11	0,16	0,57	0,46	0,30
<b>Ag at</b>	44,80	45,22	43,94	43,21	44,22	45,45	43,92	43,28	43,25	42,58
<b>Sb at</b>	12,95	13,73	12,34	14,22	13,72	13,86	13,85	14,18	14,21	14,66
<b>Pb at</b>	0,08	0,00	0,00	0,06	0,00	0,05	0,00	0,06	0,03	0,05
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,16	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	99,99	100,01	100,01	100,00	100,01	100,00	99,99	99,99	100,01	100,00

Marianas - San Marcos

	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Pirargirita	Argentita	Argentita	Argentita	Argentita
<b>Análisis</b>	246	332	333	343	218	219	107	35	36	187
<b>Muestra</b>	83581-MN	106042-SM	106042-SM	106042-SM	83581-MN	83581-MN	112666-MC	106980-SM	106980-SM	112672-MC
<b>S W%</b>	16,95	16,06	13,47	16,36	14,83	15,40	14,36	13,74	13,25	12,39
<b>Fe W%</b>	0,04	0,09	0,11	0,01	0,01	0,08	0,03	0,04	0,05	0,17
<b>Cu W%</b>	0,11	0,10	0,00	0,00	0,06	0,09	0,47	0,24	0,13	0,01
<b>Zn W%</b>	0,05	0,00	0,06	0,05	0,00	0,04	0,03	0,06	0,04	0,09
<b>As W%</b>	0,50	0,93	0,99	0,35	0,21	0,33	0,25	0,25	0,31	0,27
<b>Se W%</b>	0,22	0,51	0,19	0,41	1,48	1,34	0,06	1,18	1,39	1,39
<b>Ag W%</b>	59,65	61,27	61,21	60,34	58,97	59,00	84,20	81,86	82,66	84,26
<b>Sb W%</b>	22,38	18,38	19,86	20,74	21,70	21,59	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pb W%</b>	0,02	0,10	0,07	0,18	0,01	0,00	0,07	0,01	0,07	0,00
<b>Bi W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,24	0,00
<b>Sum W%</b>	99,94	97,43	95,96	98,44	97,26	97,88	99,47	97,39	98,14	98,59
<b>S at</b>	41,36	40,31	35,92	40,76	38,22	39,06	36,08	35,38	34,25	32,39
<b>Fe at</b>	0,06	0,13	0,16	0,02	0,01	0,11	0,04	0,06	0,08	0,26
<b>Cu at</b>	0,14	0,13	0,00	0,00	0,07	0,12	0,59	0,31	0,17	0,01
<b>Zn at</b>	0,06	0,00	0,07	0,07	0,00	0,05	0,04	0,07	0,05	0,11
<b>As at</b>	0,53	0,99	1,13	0,37	0,23	0,36	0,27	0,28	0,35	0,31
<b>Se at</b>	0,22	0,52	0,20	0,41	1,55	1,38	0,06	1,24	1,46	1,48
<b>Ag at</b>	43,25	45,73	48,52	44,69	45,18	44,49	62,89	62,65	63,53	65,45
<b>Sb at</b>	14,38	12,15	13,95	13,61	14,73	14,43	0,00	0,00	0,00	0,00
<b>Pb at</b>	0,01	0,04	0,03	0,07	0,00	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00
<b>Bi at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09	0,00
<b>Sum at</b>	100,01	100,00	99,98	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,01	100,01

Marianas - San Marcos

	Argentita	Argentita	Argentita	Argentita	Galena	Galena	Galena
<b>Análisis</b>	188	339	284	285	26	291	186
<b>Muestra</b>	112672-MC	106042-SM	79791-SM	79791-SM	106980-SM	79791-SM	112672-MC
<b>S W%</b>	10,72	15,46	10,55	9,59	12,73	13,16	12,80
<b>Fe W%</b>	0,21	0,06	0,01	0,10	0,06	0,00	0,00
<b>Cu W%</b>	0,01	0,24	0,25	0,31	0,61	0,53	0,27
<b>Zn W%</b>	0,01	0,08	0,05	0,01	0,18	0,00	0,41
<b>As W%</b>	0,21	0,22	0,12	0,20	0,09	0,15	0,26
<b>Se W%</b>	1,14	0,10	5,03	5,57	0,56	0,07	0,15
<b>Ag W%</b>	81,50	83,52	81,89	81,45	7,20	2,56	0,00
<b>Sb W%</b>	0,00	0,00	0,30	0,00	0,99	0,11	0,09
<b>Pb W%</b>	0,04	0,00	0,11	0,00	72,76	81,31	83,72
<b>Bi W%</b>	0,00	0,55	0,13	0,19	0,00	0,00	0,00
<b>Sum W%</b>	93,84	100,22	98,45	97,41	95,19	97,89	97,70
<b>S at</b>	30,08	37,99	28,31	26,35	47,00	48,93	48,68
<b>Fe at</b>	0,33	0,08	0,02	0,16	0,12	0,00	0,00
<b>Cu at</b>	0,02	0,29	0,34	0,42	1,14	1,00	0,51
<b>Zn at</b>	0,02	0,09	0,07	0,01	0,33	0,00	0,76
<b>As at</b>	0,26	0,23	0,13	0,24	0,15	0,24	0,43
<b>Se at</b>	1,29	0,10	5,49	6,21	0,84	0,11	0,24
<b>Ag at</b>	67,99	61,01	65,32	66,53	7,90	2,82	0,00
<b>Sb at</b>	0,00	0,00	0,21	0,00	0,96	0,11	0,09
<b>Pb at</b>	0,02	0,00	0,04	0,00	41,56	46,79	49,29
<b>Bi at</b>	0,00	0,21	0,05	0,08	0,00	0,00	0,00
<b>Sum at</b>	100,01	100,00	99,98	100,00	100,00	100,00	100,00

Marianas - San Marcos

	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita
<b>Análisis</b>	1	2	46	47	48	49	51	70	71	104	112
<b>Muestra</b>	102059	102059	106980	106980	106980	106980	96423	102059	102059	112666	112666
<b>S W%</b>	32,25	32,76	32,40	32,25	32,04	32,07	32,63	32,90	32,90	31,68	31,98
<b>Fe W%</b>	0,40	0,63	1,19	0,90	2,42	0,85	0,76	0,41	0,48	0,41	0,63
<b>Cu W%</b>	0,21	0,25	0,07	0,01	2,11	0,14	0,28	0,11	0,12	0,06	0,14
<b>Zn W%</b>	64,33	64,79	64,95	64,51	59,98	64,44	64,17	64,59	64,58	65,24	64,50
<b>Cd W%</b>	2,12	0,91	0,74	0,77	0,67	0,88	0,30	0,66	0,61	0,52	0,51
<b>In W%</b>	0,03	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,03	0,03	0,00
<b>Sum W%</b>	99,32	99,36	99,40	98,44	97,22	98,38	98,15	98,71	98,71	97,94	97,76
<b>S at</b>	49,81	50,18	49,70	49,89	49,98	49,73	50,37	50,56	50,54	49,42	49,82
<b>Fe at</b>	0,35	0,55	1,05	0,80	2,17	0,76	0,67	0,36	0,42	0,37	0,56
<b>Cu at</b>	0,16	0,19	0,06	0,01	1,66	0,11	0,22	0,08	0,09	0,04	0,11
<b>Zn at</b>	48,73	48,67	48,86	48,96	45,89	49,01	48,60	48,69	48,67	49,93	49,28
<b>Cd at</b>	0,93	0,40	0,32	0,34	0,30	0,39	0,13	0,29	0,27	0,23	0,22
<b>In at</b>	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
<b>Sum at</b>	99,99	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99
	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita
<b>Análisis</b>	113	116	117	121	129	185	247	366	368	369	216
<b>Muestra</b>	112666	112666	112666	112666	112666	112672	107530	102828	102828	102828	83581
<b>S W%</b>	31,44	32,00	29,97	32,41	31,95	31,81	32,90	32,33	32,37	32,85	32,29
<b>Fe W%</b>	0,59	0,55	0,30	0,53	0,55	0,56	0,51	1,90	1,23	0,82	0,47
<b>Cu W%</b>	0,07	0,09	0,02	0,06	0,00	0,13	0,37	1,11	0,53	0,42	0,03
<b>Zn W%</b>	65,75	65,13	62,62	65,38	65,43	65,31	64,19	63,43	64,19	64,44	65,55
<b>Cd W%</b>	0,28	0,40	0,62	0,47	0,35	0,62	0,31	0,31	0,37	0,41	0,75
<b>In W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,04	0,03	0,06	0,02	0,04	0,06
<b>Sum W%</b>	98,13	98,18	93,53	98,85	98,32	98,47	98,32	99,14	98,71	98,97	99,15
<b>S at</b>	49,02	49,67	49,10	49,90	49,56	49,38	50,64	49,59	49,84	50,34	49,70
<b>Fe at</b>	0,53	0,49	0,28	0,47	0,49	0,50	0,45	1,67	1,08	0,72	0,42
<b>Cu at</b>	0,05	0,07	0,01	0,04	0,00	0,10	0,29	0,86	0,41	0,32	0,03
<b>Zn at</b>	50,28	49,59	50,31	49,38	49,78	49,73	48,47	47,72	48,49	48,43	49,50
<b>Cd at</b>	0,12	0,18	0,29	0,21	0,16	0,28	0,14	0,14	0,16	0,18	0,33
<b>In at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,03
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	99,99	100,00	100,01	100,01	100,00	100,01	99,99	100,01	100,01



Marianas - San Marcos

	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita	Esfalerita		Pirita	Pirita	Pirita	Pirita
<b>Análisis</b>	233	215	227	215	227	<b>Análisis</b>	22	27	28	45
<b>Muestra</b>	83581	83581-MN	83581-MN	83581-MN	83581-MN	<b>Muestra</b>	102059	106980	106980	106980
<b>S W%</b>	32,74	31,86	31,30	31,86	31,30	<b>S W%</b>	51,80	49,84	51,37	50,59
<b>Fe W%</b>	1,28	0,45	0,93	0,45	0,93	<b>Fe W%</b>	45,49	45,46	46,39	46,07
<b>Cu W%</b>	0,68	0,00	0,26	0,00	0,26	<b>Co W%</b>	0,07	0,08	0,03	0,00
<b>Zn W%</b>	63,15	65,21	63,09	65,21	63,09	<b>Ni W%</b>	0,00	0,04	0,03	0,03
<b>Cd W%</b>	0,65	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>As W%</b>	0,00	2,22	0,00	0,76
<b>In W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>Sb W%</b>	0,00	0,00	0,00	0,10
<b>Sum W%</b>	98,50	97,75	95,70	97,75	95,70	<b>Sum W%</b>	97,36	97,64	97,82	97,55
<b>S at</b>	50,38	49,67	49,72	49,67	49,72	<b>S at</b>	66,45	64,76	65,83	65,35
<b>Fe at</b>	1,13	0,41	0,84	0,41	0,84	<b>Fe at</b>	33,50	33,91	34,14	34,17
<b>Cu at</b>	0,52	0,00	0,20	0,00	0,20	<b>Co at</b>	0,05	0,06	0,02	0,00
<b>Zn at</b>	47,68	49,86	49,16	49,86	49,16	<b>Ni at</b>	0,00	0,03	0,02	0,02
<b>Cd at</b>	0,29	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>As at</b>	0,00	1,23	0,00	0,42
<b>In at</b>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	<b>Sb at</b>	0,00	0,00	0,00	0,03
<b>Sum at</b>	100,00	99,94	99,92	99,94	99,92	<b>Sum at</b>	100,00	99,99	100,01	99,99

Marianas - San Marcos

	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum
<i>Análisis</i>	14	15	59	60	66	67	68	69	72	73
<i>Muestra</i>	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102059
<i>Au W%</i>	72,41	72,57	63,45	57,44	61,07	62,40	62,73	62,71	62,75	62,50
<i>Ag W%</i>	28,02	27,02	37,23	42,24	38,66	37,20	37,56	37,99	38,05	38,26
<i>Cu W%</i>	0,07	0,12	0,05	0,11	0,03	0,01	0,07	0,09	0,01	0,07
<i>Sum W%</i>	100,50	99,70	100,74	99,79	99,75	99,61	100,37	100,79	100,82	100,83
<i>Au at</i>	58,49	59,35	48,22	42,57	46,36	47,87	47,69	47,37	47,45	47,14
<i>Ag at</i>	41,33	40,35	51,66	57,17	53,58	52,11	52,14	52,41	52,54	52,69
<i>Cu at</i>	0,17	0,30	0,13	0,26	0,06	0,02	0,18	0,22	0,02	0,17
<i>Sum at</i>	99,99	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,01	100,00	100,01	100,00
	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum
<i>Análisis</i>	74	76	77	80	81	84	85	88	89	90
<i>Muestra</i>	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102059
<i>Au W%</i>	63,25	62,22	62,69	62,17	62,49	62,35	63,53	65,02	61,98	44,47
<i>Ag W%</i>	38,03	37,49	37,14	37,79	37,23	37,39	37,67	35,10	38,25	57,84
<i>Cu W%</i>	0,03	0,10	0,05	0,10	0,00	0,11	0,07	0,00	0,11	0,02
<i>Sum W%</i>	101,30	99,81	99,87	100,06	99,72	99,85	101,27	100,13	100,34	102,33
<i>Au at</i>	47,64	47,50	47,98	47,28	47,90	47,61	47,94	50,36	46,90	29,62
<i>Ag at</i>	52,30	52,26	51,91	52,48	52,10	52,14	51,89	49,64	52,85	70,35
<i>Cu at</i>	0,07	0,24	0,11	0,23	0,00	0,26	0,17	0,00	0,25	0,03
<i>Sum at</i>	100,01	100,00	100,00	99,99	100,00	100,01	100,00	100,00	100,00	100,00

Marianas - San Marcos

	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum
<i>Análisis</i>	91	95	96	97	98	102	105	123	131	354
<i>Muestra</i>	102059	102059	102059	102059	102059	112666	112666	112666	112666	102828
<i>Au W%</i>	51,89	62,24	58,66	58,11	62,65	61,43	61,45	63,42	62,46	62,83
<i>Ag W%</i>	49,04	37,65	42,29	42,45	37,90	38,33	38,87	36,71	37,02	36,92
<i>Cu W%</i>	0,02	0,04	0,09	0,10	0,01	0,09	0,12	0,05	0,04	0,13
<i>Sum W%</i>	100,94	99,93	101,03	100,67	100,56	99,86	100,43	100,18	99,52	99,98
<i>Au at</i>	36,67	47,47	43,08	42,75	47,50	46,64	46,28	48,55	47,98	48,03
<i>Ag at</i>	63,29	52,44	56,72	57,02	52,47	53,14	53,45	51,32	51,92	51,54
<i>Cu at</i>	0,04	0,09	0,20	0,23	0,03	0,21	0,27	0,13	0,10	0,31
<i>Sum at</i>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	100,00	99,88
	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum
<i>Análisis</i>	355	361	363	364	370	371	374	31	42	43
<i>Muestra</i>	102828	102828	102828	102828	102828	102828	102828	106980	106980	106980
<i>Au W%</i>	63,72	37,19	62,67	63,01	63,88	60,84	62,93	63,01	60,76	54,66
<i>Ag W%</i>	37,53	62,84	37,38	37,68	38,31	38,88	38,25	36,30	38,10	47,64
<i>Cu W%</i>	0,09	0,11	0,16	0,02	0,12	0,14	0,06	0,00	0,10	0,04
<i>Sum W%</i>	101,40	100,27	100,31	100,81	102,35	99,97	101,37	99,31	98,96	102,34
<i>Au at</i>	48,05	24,39	47,63	47,72	47,57	45,94	47,26	48,74	46,51	38,56
<i>Ag at</i>	51,67	75,25	51,87	52,11	52,10	53,61	52,45	51,26	53,25	61,36
<i>Cu at</i>	0,21	0,23	0,37	0,06	0,28	0,34	0,14	0,00	0,23	0,09
<i>Sum at</i>	99,93	99,87	99,87	99,89	99,95	99,89	99,85	100,00	99,99	100,01

Marianas - San Marcos

	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum
<i>Análisis</i>	44	268	269	270	271	54	55	56	57	325
<i>Muestra</i>	106980	79791	79791	79791	79791	96423	96423	96423	96423	106042
<i>Au W%</i>	62,03	61,62	61,48	63,06	63,41	66,67	67,98	66,93	68,10	55,04
<i>Ag W%</i>	37,74	37,46	35,84	36,39	36,00	33,37	32,09	32,92	31,23	44,63
<i>Cu W%</i>	0,08	0,00	0,08	0,02	0,00	0,10	0,11	0,11	0,09	0,02
<i>Sum W%</i>	99,85	99,19	97,54	99,57	99,56	100,13	100,18	99,96	99,42	99,75
		0,00	0,08	0,02	0,00					
<i>Au at</i>	47,29	47,33	48,27	48,61	49,01	52,12	53,56	52,55	54,30	40,27
<i>Ag at</i>	52,53	52,54	51,38	51,22	50,81	47,64	46,16	47,19	45,47	59,61
<i>Cu at</i>	0,18	0,00	0,19	0,06	0,00	0,24	0,28	0,27	0,23	0,05
<i>Sum at</i>	100,00	99,87	99,84	99,89	99,82	100,00	100,00	100,01	100,00	99,93
	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum
<i>Análisis</i>	326	336	347	350	351	352	348	353	19	20
<i>Muestra</i>	106042	106042	106042	106042	106042	106042	106042	106042	102059	102059
<i>Au W%</i>	58,13	63,74	61,56	61,54	61,12	59,67	43,11	43,35	28,59	26,21
<i>Ag W%</i>	41,00	37,92	38,84	40,23	38,53	38,96	57,32	57,72	71,33	73,76
<i>Cu W%</i>	0,03	0,02	0,07	0,03	0,08	0,00	0,14	0,04	0,15	0,09
<i>Sum W%</i>	99,26	101,76	100,55	101,99	99,82	98,69	100,73	101,20	100,06	100,06
<i>Au at</i>	43,63	47,86	46,35	45,45	46,35	45,58	29,04	29,09	17,95	16,26
<i>Ag at</i>	56,19	52,00	53,40	54,26	53,35	54,34	70,50	70,74	81,76	83,56
<i>Cu at</i>	0,06	0,05	0,16	0,06	0,20	0,00	0,29	0,07	0,29	0,18
<i>Sum at</i>	99,88	99,91	99,91	99,77	99,90	99,92	99,83	99,90	100,00	100,00

Marianas - San Marcos

	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum
<i>Análisis</i>	61	62	63	64	65	75	356	357	362	365
<i>Muestra</i>	102059	102059	102059	102059	102059	102059	102828	102828	102828	102828
<i>Au W%</i>	30,45	22,02	35,18	34,52	16,89	24,43	21,21	26,81	15,70	21,88
<i>Ag W%</i>	69,92	78,21	66,25	66,96	83,14	75,61	79,02	74,08	84,72	79,92
<i>Cu W%</i>	0,00	0,09	0,02	0,13	0,02	0,01	0,02	0,17	0,06	0,06
<i>Sum W%</i>	100,38	100,32	101,45	101,61	100,04	100,04	100,45	101,17	100,55	102,01
<i>Au at</i>	19,25	13,33	22,52	21,96	10,01	15,03	12,79	16,47	9,20	13,01
<i>Ag at</i>	80,74	86,49	77,44	77,77	89,95	84,96	86,99	83,11	90,64	86,74
<i>Cu at</i>	0,01	0,18	0,04	0,27	0,04	0,01	0,04	0,32	0,11	0,11
<i>Sum at</i>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	99,82	99,90	99,95	99,86
	Electrum	Electrum	Electrum	Electrum	Plata	Plata	Plata			
<i>Análisis</i>	372	373	375	376	16	17	18			
<i>Muestra</i>	102828	102828	102828	102828	102059	102059	102059			
<i>Au W%</i>	21,03	31,89	31,89	19,61	19,12	19,05	18,51			
<i>Ag W%</i>	81,03	70,01	68,52	77,40	81,90	81,26	82,10			
<i>Cu W%</i>	0,06	0,06	0,17	0,41	0,02	0,11	0,11			
<i>Sum W%</i>	102,36	102,15	100,60	97,52	101,05	100,43	100,72			
<i>Au at</i>	12,40	19,90	20,24	12,08	11,33	11,36	10,97			
<i>Ag at</i>	87,27	79,79	79,41	87,04	88,63	88,44	88,84			
<i>Cu at</i>	0,11	0,12	0,33	0,79	0,04	0,21	0,20			
<i>Sum at</i>	99,78	99,81	99,98	99,91	100,00	100,01	100,01			

Marianas - San Marcos

	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita
<b>Análisis</b>	252	253	254	255	256	257	258	259	260	262
<b>Muestra</b>	107530	107530	107530	107530	107530	107530	107530	107530	107530	107530
<b>Au W%</b>	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,33	0,13	0,00	0,00	0,22
<b>Ag W%</b>	61,67	59,53	60,10	60,29	60,61	61,76	61,67	61,49	61,26	60,18
<b>Te W%</b>	36,01	37,16	35,45	35,91	36,21	35,99	36,26	36,37	36,96	35,75
<b>Cu W%</b>	0,34	0,33	0,59	0,77	0,32	0,68	0,45	0,00	0,09	0,05
<b>Sum W%</b>	98,18	97,01	96,15	96,97	97,14	98,76	98,51	97,86	98,31	96,20
<b>Au at</b>	0,09	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,07	0,0	0,0	0,13
<b>Ag at</b>	66,47	65,06	65,99	65,57	66,05	66,04	66,20	66,67	66,12	66,41
<b>Te at</b>	32,81	34,33	32,91	33,01	33,36	32,53	32,9	33,33	33,72	33,35
<b>Cu at</b>	0,63	0,60	1,10	1,41	0,59	1,23	0,82	0,00	0,16	0,10
<b>Sum at</b>	100,00	99,99	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99	100,00	100,00	99,99
	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita	Hessita					
<b>Análisis</b>	263	264	265	266	267					
<b>Muestra</b>	107530	107530	107530	107530	107530					
<b>Au W%</b>	0,00	0,05	0,17	0,00	0,00					
<b>Ag W%</b>	61,44	60,94	61,81	61,03	61,74					
<b>Te W%</b>	36,20	36,17	36,50	36,30	36,47					
<b>Cu W%</b>	0,00	0,04	0,06	0,00	0,00					
<b>Sum W%</b>	97,64	97,20	98,53	97,33	98,21					
<b>Au at</b>	0,0	0,03	0,1	0,0	0,0					
<b>Ag at</b>	66,75	66,51	66,57	66,54	66,70					
<b>Te at</b>	33,25	33,38	33,23	33,46	33,3					
<b>Cu at</b>	0,00	0,08	0,10	0,00	0,00					
<b>Sum at</b>	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00					

## ANEXO C

Dataciones  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$



<sup>40</sup>Ar/<sup>39</sup>Ar Data for Adularia, T. Thompson Study

J-Value:	0,006019 ± 6E-06
Measured 40/36 of Air:	290 ± 1,3
(36/37)Ca:	0,00025 ± 2,7E-06
(39/37)Ca:	0,000838 ± 3,8E-05
(40/39)K:	0 ± 4E-04
(38/39)Cl:	0,01 ± 0,01
Date of Irradiation:	01/08/2011
Date of Analysis:	22/09/2011
All Errors at 1σ.	

Incremental Heating Plateau Ages (2σ)		
155,74	±	0,29
155,11	±	0,22
154,41	±	0,22
155,37	±	0,33
156,21	±	0,22
155,87	±	0,46

Mean = 155.36±0.75 [0.49%] 95% conf.  
Wtd by data-pt errs only, 0 of 6 rej.  
MSWD = 7.6, probability = 0.000

Single Crystal Fusion Ages (means, n=5, 2σ)		
153,2	±	2,11532
155,1	±	1,21551
153,4	±	1,71534
155,12	±	0,725512
154	±	11,0154
155,27	±	0,905527

Mean = 154.92±0.72 [0.46%] 95% conf.  
Wtd by data-pt errs only, 0 of 6 rej.  
MSWD = 1.4, probability = 0.24

Analytical measurements are expressed in volts, with their standard deviation.

J-Values are based on replicate analyses of Fish Canyon sanidine (FC-2), with an assumed age of 28.02 Ma. See Renne et al., 1998, Chemical Geology, v. 145, p. 117-152.

Data are corrected for blank, mass discrimination and decay of irradiation-produced isotopes.

Abbreviations: V, volts; P, % laser output power; t, time for heating in seconds; % Rad, the % radiogenic argon following model correction for air.

Data for a typical analytical blank, measured in the course of this study.

Blank	P	t	40	39	38	37	36	Moles 40Ar	40/36
blank.9.22.11.a.txt	0	0	0,00356 ± 0,00009	0,00013 ± 0,00003	0,00004 ± 0,00002	0,00012 ± 0,00002	0,0000462 ± 0,0000108	3,77E-17	77

*Laser fusion data for single crystals, or single pieces of aggregate crystals.*

Sample	P	t	40 V	39 V	38 V	37 V	36 V	Moles 40Ar*	%Rad	R	Age (Ma)	%-sd
95048	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3b.adl.20.3x.txt	0	0	21,36215 ± 0,02002	1,29874 ± 0,00178	0,01828 ± 0,00016	0,00477 ± 0,00006	0,006081 ± 0,000041	7,14E-13	91,59%	15,0651	156,59 ± 0,30	0,19%
au20.3b.adl.19a.txt	2	10	20,56428 ± 0,02308	1,17687 ± 0,00222	0,01794 ± 0,00007	0,00049 ± 0,00004	0,010622 ± 0,000077	6,87E-13	84,74%	14,8065	154,01 ± 0,45	0,29%
au20.3b.adl.18a.txt	0	0	17,05196 ± 0,01057	1,01494 ± 0,00134	0,01515 ± 0,00009	0,00653 ± 0,00011	0,007996 ± 0,000047	5,70E-13	86,15%	14,4734	150,69 ± 0,29	0,20%
au20.3b.adl.17a.txt	2	10	22,45685 ± 0,01853	1,26002 ± 0,00247	0,01972 ± 0,00012	0,00070 ± 0,00005	0,013780 ± 0,000069	7,50E-13	81,87%	14,5910	151,86 ± 0,43	0,29%
au20.3b.adl.16a.txt	0	0	18,14695 ± 0,00998	0,99742 ± 0,00276	0,01536 ± 0,00010	0,00027 ± 0,00004	0,011803 ± 0,000060	6,06E-13	80,78%	14,6971	152,92 ± 0,57	0,38%

Mean = 153.2±2.1 [1.4%] 95% conf.  
Wtd by data-pt + ext. errs, 0 of 5 rej.  
External 2σ err req'd (each pt) = 4.0 [±2.6%]  
MSWD = 53, probability = 0.000

96335	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3d.adl.30a.txt	2	10	5,53551 ± 0,00898	0,35619 ± 0,00100	0,00491 ± 0,00006	0,00025 ± 0,00006	0,001020 ± 0,000020	1,85E-13	94,56%	14,6947	152,90 ± 0,55	0,36%
au20.3d.adl.29a.txt	2	10	4,39810 ± 0,00494	0,28603 ± 0,00038	0,00375 ± 0,00006	-0,00001 ± 0,00006	0,000444 ± 0,000018	1,47E-13	97,02%	14,9179	155,12 ± 0,34	0,22%
au20.3d.adl.28a.txt	2	10	8,31487 ± 0,00797	0,53392 ± 0,00088	0,00729 ± 0,00008	0,00012 ± 0,00006	0,001077 ± 0,000020	2,78E-13	96,17%	14,9771	155,71 ± 0,33	0,21%
au20.3d.adl.27a.txt	2	10	4,27971 ± 0,00505	0,27677 ± 0,00043	0,00374 ± 0,00006	0,00003 ± 0,00003	0,000515 ± 0,000019	1,43E-13	96,45%	14,9137	155,08 ± 0,38	0,24%
au20.3d.adl.26a.txt	2	10	11,05441 ± 0,01343	0,72479 ± 0,00121	0,00986 ± 0,00009	0,00016 ± 0,00007	0,000448 ± 0,000023	3,69E-13	98,80%	15,0691	156,63 ± 0,34	0,22%

Mean = 155.1±1.2 [0.77%] 95% conf.  
Wtd by data-pt + ext. errs, 0 of 5 rej.  
External 2σ err req'd (each pt) = 2.2 [±1.4%]  
MSWD = 8.9, probability = 0.000

91590	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3f.adl.40a.txt	2	10	0,83318 ± 0,00141	0,04348 ± 0,00015	0,00070 ± 0,00003	0,00064 ± 0,00004	0,000691 ± 0,000016	2,78E-14	75,51%	14,4716	150,67 ± 1,40	0,93%
au20.3f.adl.39a.txt	2	10	4,90988 ± 0,00247	0,31556 ± 0,00028	0,00441 ± 0,00007	0,00039 ± 0,00004	0,000715 ± 0,000018	1,64E-13	95,70%	14,8902	154,85 ± 0,24	0,16%
au20.3f.adl.38a.txt	2	10	5,35297 ± 0,00624	0,34265 ± 0,00064	0,00486 ± 0,00006	0,00037 ± 0,00006	0,001130 ± 0,000024	1,79E-13	93,76%	14,6475	152,43 ± 0,42	0,27%
au20.3f.adl.37a.txt	2	10	1,35971 ± 0,00206	0,06845 ± 0,00026	0,00118 ± 0,00004	0,00107 ± 0,00005	0,001212 ± 0,000018	4,54E-14	73,67%	14,6339	152,29 ± 1,17	0,77%
au20.3f.adl.36a.txt	2	10	1,84673 ± 0,00338	0,10099 ± 0,00013	0,00162 ± 0,00004	0,00330 ± 0,00009	0,001134 ± 0,000021	6,17E-14	81,86%	14,9705	155,65 ± 0,76	0,49%

Mean = 153.4±1.7 [1.1%] 95% conf.  
Wtd by data-pt + ext. errs, 0 of 5 rej.  
External 2σ err req'd (each pt) = 3.0 [±1.9%]  
MSWD = 9.4, probability = 0.000

102017	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3h.adl.50a.txt	2	10	3,55328 ± 0,00493	0,22284 ± 0,00059	0,00315 ± 0,00005	0,00053 ± 0,00004	0,000782 ± 0,000021	1,19E-13	93,50%	14,9091	155,04 ± 0,58	0,37%
au20.3h.adl.49a.txt	2	10	5,85789 ± 0,00291	0,36806 ± 0,00022	0,00516 ± 0,00003	0,00074 ± 0,00005	0,001354 ± 0,000027	1,96E-13	93,17%	14,8288	154,24 ± 0,26	0,17%
au20.3h.adl.48a.txt	2	10	5,29254 ± 0,00444	0,33086 ± 0,00063	0,00460 ± 0,00006	0,00067 ± 0,00006	0,001236 ± 0,000024	1,77E-13	93,10%	14,8924	154,87 ± 0,41	0,27%
au20.3h.adl.47a.txt	2	10	6,87663 ± 0,00611	0,42563 ± 0,00051	0,00607 ± 0,00008	0,00075 ± 0,00006	0,001644 ± 0,000023	2,30E-13	92,93%	15,0149	156,09 ± 0,30	0,19%
au20.3h.adl.46a.txt	2	10	4,93384 ± 0,00357	0,30504 ± 0,00041	0,00432 ± 0,00006	0,00121 ± 0,00006	0,001272 ± 0,000023	1,65E-13	92,38%	14,9422	155,37 ± 0,35	0,22%

Mean = 155.12±0.71 [0.46%] 95% conf.  
Wtd by data-pt + ext. errs, 0 of 5 rej.  
External 2σ err req'd (each pt) = 1.2 [±0.75%]  
MSWD = 5.6, probability = 0.000

111082	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3j.adl.60a.txt	2	10	0,59329 ± 0,00064	0,01673 ± 0,00013	0,00043 ± 0,00003	0,00492 ± 0,00011	0,001163 ± 0,000018	1,98E-14	42,13%	14,9460	155,41 ± 4,66	3,00%
au20.3j.adl.59a.txt	2	10	1,10594 ± 0,00109	0,03706 ± 0,00016	0,00090 ± 0,00003	0,00114 ± 0,00004	0,001921 ± 0,000018	3,69E-14	48,67%	14,5266	151,22 ± 2,15	1,42%
au20.3j.adl.58a.txt	2	10	0,60837 ± 0,00130	0,01082 ± 0,00007	0,00048 ± 0,00005	0,00378 ± 0,00008	0,001582 ± 0,000020	2,03E-14	23,18%	13,0414	136,33 ± 7,50	5,50%
au20.3j.adl.57a.txt	2	10	0,49843 ± 0,00044	0,01343 ± 0,00007	0,00037 ± 0,00004	0,00108 ± 0,00004	0,000945 ± 0,000018	1,66E-14	43,97%	16,3199	169,04 ± 4,68	2,77%
au20.3j.adl.56a.txt	2	10	0,43134 ± 0,00046	0,00563 ± 0,00007	0,00036 ± 0,00003	0,00108 ± 0,00004	0,001177 ± 0,000019	1,44E-14	19,36%	14,8394	154,34 ± 16,88	10,93%

Mean = 154±11 [7.2%] 95% conf.  
Wtd by data-pt + ext. errs, 0 of 5 rej.  
External 2σ err req'd (each pt) = 17 [±11%]  
MSWD = 4.4, probability = 0.002

100932	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3l.adl.70a.txt	2	10	7,53121 ± 0,00353	0,49672 ± 0,00031	0,00681 ± 0,00006	0,02039 ± 0,00015	0,000540 ± 0,000018	2,52E-13	97,90%	14,8443	154,39 ± 0,17	0,11%
au20.3l.adl.69a.txt	2	10	5,17195 ± 0,00296	0,33460 ± 0,00064	0,00463 ± 0,00007	0,00024 ± 0,00004	0,000621 ± 0,000019	1,73E-13	96,45%	14,9083	155,03 ± 0,37	0,24%
au20.3l.adl.68a.txt	2	10	11,01789 ± 0,00862	0,70338 ± 0,00083	0,00968 ± 0,00007	0,01846 ± 0,00009	0,001369 ± 0,000028	3,68E-13	96,34%	15,0914	156,85 ± 0,26	0,17%
au20.3l.adl.67a.txt	2	10	8,27539 ± 0,00763	0,54180 ± 0,00104	0,00735 ± 0,00007	0,02433 ± 0,00030	0,000654 ± 0,000020	2,76E-13	97,69%	14,9210	155,16 ± 0,36	0,23%
au20.3l.adl.66a.txt	2	10	12,02442 ± 0,01143	0,78485 ± 0,00110	0,01075 ± 0,00008	0,08351 ± 0,00022	0,001141 ± 0,000029	4,02E-13	97,25%	14,9003	154,95 ± 0,29	0,19%

Mean = 155.27±0.89 [0.57%] 95% conf.  
Wtd by data-pt + ext. errs, 0 of 5 rej.  
External 2σ err req'd (each pt) = 1.6 [±1.0%]  
MSWD = 16, probability = 0.000

*Incremental heating data for single crystals, or single pieces of aggregate crystals.*

95048	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3b.adl.12a.txt	0	20	0,35925 ± 0,00053	0,00501 ± 0,00006	0,00024 ± 0,00003	-0,00007 ± 0,00005	0,000951 ± 0,000022	1,20E-14	21,76%	15,5891	161,80 ± 17,90	11,06%
au20.3b.adl.12b.txt	0	20	3,59202 ± 0,00233	0,19229 ± 0,00037	0,01071 ± 0,00010	0,00006 ± 0,00004	0,002728 ± 0,000030	1,20E-13	77,56%	14,4879	150,83 ± 0,63	0,42%
au20.3b.adl.12c.txt	0	20	1,40943 ± 0,00170	0,08985 ± 0,00024	0,00247 ± 0,00006	-0,00002 ± 0,00005	0,000219 ± 0,000021	4,71E-14	95,42%	14,9665	155,61 ± 0,85	0,55%
au20.3b.adl.12d.txt	1	20	0,68281 ± 0,00079	0,04481 ± 0,00019	0,00082 ± 0,00003	0,00000 ± 0,00008	0,000040 ± 0,000019	2,28E-14	98,26%	14,9729	155,67 ± 1,48	0,95%
au20.3b.adl.12e.txt	1	20	3,55042 ± 0,00341	0,22639 ± 0,00035	0,00360 ± 0,00007	0,00020 ± 0,00005	0,000693 ± 0,000021	1,19E-13	94,23%	14,7781	153,73 ± 0,41	0,27%
au20.3b.adl.12f.txt	1	20	8,97070 ± 0,00937	0,53180 ± 0,00131	0,00801 ± 0,00008	0,00035 ± 0,00006	0,003530 ± 0,000035	3,00E-13	88,37%	14,9069	155,02 ± 0,51	0,33%
au20.3b.adl.12g.txt	1	20	3,10687 ± 0,00541	0,18032 ± 0,00019	0,00268 ± 0,00005	-0,00005 ± 0,00005	0,001348 ± 0,000024	1,04E-13	87,18%	15,0213	156,16 ± 0,54	0,35%
au20.3b.adl.12j.txt	1	10	0,38531 ± 0,00054	0,02286 ± 0,00011	0,00033 ± 0,00003	-0,00009 ± 0,00005	0,000127 ± 0,000020	1,29E-14	90,23%	15,2115	158,05 ± 2,88	1,82%
au20.3b.adl.12k.txt	1	10	0,69647 ± 0,00109	0,04132 ± 0,00014	0,00058 ± 0,00004	-0,00005 ± 0,00004	0,000305 ± 0,000020	2,33E-14	87,05%	14,6719	152,67 ± 1,62	1,06%
au20.3b.adl.12l.txt	1	10	1,40445 ± 0,00165	0,08233 ± 0,00034	0,00124 ± 0,00005	-0,00001 ± 0,00007	0,000637 ± 0,000021	4,69E-14	86,60%	14,7730	153,68 ± 1,11	0,72%
au20.3b.adl.12m.txt	1	10	2,31728 ± 0,00277	0,13378 ± 0,00029	0,00204 ± 0,00004	0,00002 ± 0,00005	0,001035 ± 0,000020	7,74E-14	86,80%	15,0352	156,29 ± 0,64	0,41%
au20.3b.adl.12n.txt	1	10	3,05308 ± 0,00434	0,17971 ± 0,00026	0,00263 ± 0,00004	0,00030 ± 0,00006	0,001206 ± 0,000026	1,02E-13	88,33%	15,0067	156,01 ± 0,57	0,37%
au20.3b.adl.12o.txt	1	10	1,79835 ± 0,00192	0,10527 ± 0,00013	0,00152 ± 0,00004	-0,00001 ± 0,00004	0,000727 ± 0,000022	6,01E-14	88,06%	15,0423	156,36 ± 0,70	0,45%
au20.3b.adl.12p.txt	1	5	0,30578 ± 0,00042	0,01762 ± 0,00008	0,00027 ± 0,00002	-0,00006 ± 0,00005	0,000113 ± 0,000023	1,02E-14	89,04%	15,4517	160,44 ± 4,09	2,55%
au20.3b.adl.12q.txt	1	5	0,33632 ± 0,00060	0,01965 ± 0,00012	0,00028 ± 0,00003	0,00007 ± 0,00004	0,000131 ± 0,000019	1,12E-14	88,48%	15,1445	157,38 ± 3,10	1,97%
au20.3b.adl.12r.txt	1	5	0,12983 ± 0,00022	0,00765 ± 0,00008	0,00009 ± 0,00004	-0,00007 ± 0,00005	0,000041 ± 0,000018	4,34E-15	90,57%	15,3638	159,56 ± 7,46	4,68%
au20.3b.adl.12s.txt	1	5	0,07445 ± 0,00015	0,00077 ± 0,00006	0,00006 ± 0,00003	-0,00003 ± 0,00005	0,000193 ± 0,000028	2,49E-15	23,31%	22,6124	230,21 ± 146,14	63,48%

Plateau Age = 155.74±0.59 Ma  
(2σ, including J-error of .1%)  
MSWD = 1.3, probability = 0.23  
70.3% of the 39Ar, steps 6 through 17

100932	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3l.adl.61a.txt	0	20	5,95331 ± 0,00783	0,04419 ± 0,00029	0,00410 ± 0,00006	0,00517 ± 0,00011	0,018257 ± 0,000057	6,30E-14	9,38%	12,6431	132,32 ± 13,39	10,12%
au20.3l.adl.61b.txt	0	20	4,91132 ± 0,00259	0,29788 ± 0,00096	0,00426 ± 0,00005	0,01748 ± 0,00016	0,001660 ± 0,000020	5,20E-14	90,04%	14,8458	154,41 ± 0,60	0,39%
au20.3l.adl.61c.txt	0	20	5,40203 ± 0,00364	0,34548 ± 0,00087	0,00477 ± 0,00004	0,00221 ± 0,00007	0,000648 ± 0,000018	5,72E-14	96,46%	15,0823	156,76 ± 0,45	0,29%
au20.3l.adl.61d.txt	1	20	8,67582 ± 0,01026	0,57108 ± 0,00077	0,00750 ± 0,00007	0,00074 ± 0,00006	0,000420 ± 0,000017	9,19E-14	98,57%	14,9746	155,69 ± 0,30	0,19%
au20.3l.adl.61e.txt	1	20	15,38699 ± 0,01760	0,99761 ± 0,00281	0,01355 ± 0,00013	0,00059 ± 0,00007	0,001346 ± 0,000029	1,63E-13	97,42%	15,0254	156,20 ± 0,50	0,32%
au20.3l.adl.61f.txt	1	20	13,56535 ± 0,02364	0,86377 ± 0,00178	0,01187 ± 0,00014	0,00029 ± 0,00003	0,001956 ± 0,000075	1,44E-13	95,74%	15,0355	156,30 ± 0,52	0,33%
au20.3l.adl.61g.txt	1	20	10,34879 ± 0,01651	0,65325 ± 0,00124	0,00887 ± 0,00007	0,00013 ± 0,00005	0,001726 ± 0,000021	1,10E-13	95,07%	15,0614	156,55 ± 0,42	0,27%
au20.3l.adl.61h.txt	1	20	4,79719 ± 0,00444	0,30576 ± 0,00059	0,00421 ± 0,00004	0,00009 ± 0,00004	0,000673 ± 0,000019	5,08E-14	95,86%	15,0391	156,33 ± 0,40	0,25%

au20.3l.adl.61i.txt	1	20	6,59015 ± 0,00522	0,40115 ± 0,00156	0,00575 ± 0,00006	0,00007 ± 0,00004	0,001759 ± 0,000044	6,98E-14	92,11%	15,1327	157,26 ± 0,76	0,48%
au20.3l.adl.61j.txt	1	20	3,38395 ± 0,00376	0,17650 ± 0,00060	0,00292 ± 0,00005	0,00040 ± 0,00007	0,002542 ± 0,000025	3,58E-14	77,80%	14,9168	155,11 ± 0,84	0,54%
au20.3l.adl.61k.txt	1	20	2,71951 ± 0,00341	0,16866 ± 0,00024	0,00235 ± 0,00004	0,00041 ± 0,00006	0,000502 ± 0,000019	2,88E-14	94,55%	15,2448	158,38 ± 0,47	0,30%
au20.3l.adl.61l.txt	1	10	1,40489 ± 0,00206	0,09032 ± 0,00038	0,00117 ± 0,00003	0,00002 ± 0,00003	0,000092 ± 0,000014	1,49E-14	98,06%	15,2526	158,46 ± 0,87	0,55%
au20.3l.adl.61m.txt	1	5	0,79426 ± 0,00147	0,05110 ± 0,00015	0,00073 ± 0,00004	-0,00009 ± 0,00008	0,000051 ± 0,000017	8,41E-15	98,10%	15,2482	158,41 ± 1,16	0,74%

Plateau Age = 156.21±0.45 Ma  
(2σ, including J-error of .1%)  
MSWD = 1.3, probability = 0.26  
86.9% of the 39Ar, steps 3 through 10

96335 Incremental heating analyses of a single adularia crystal.

au20.3d.adl.21a.txt	0	20	2,34845 ± 0,00197	0,03985 ± 0,00014	0,00173 ± 0,00004	0,00028 ± 0,00005	0,006088 ± 0,000035	2,49E-14	23,40%	13,7901	143,85 ± 3,87	2,69%
au20.3d.adl.21b.txt	0	20	3,82469 ± 0,00346	0,24409 ± 0,00070	0,00344 ± 0,00005	0,00020 ± 0,00007	0,000895 ± 0,000022	4,05E-14	93,08%	14,5853	151,81 ± 0,56	0,37%
au20.3d.adl.21c.txt	0	20	4,12958 ± 0,00548	0,27662 ± 0,00101	0,00368 ± 0,00007	0,00032 ± 0,00009	0,000130 ± 0,000018	4,37E-14	99,07%	14,7906	153,86 ± 0,63	0,41%
au20.3d.adl.21d.txt	1	20	18,28201 ± 0,01148	1,19427 ± 0,00101	0,01653 ± 0,00008	0,00028 ± 0,00005	0,001597 ± 0,000029	1,94E-13	97,42%	14,9130	155,08 ± 0,18	0,12%
au20.3d.adl.21e.txt	1	20	9,47299 ± 0,00920	0,61860 ± 0,00089	0,00834 ± 0,00006	0,00010 ± 0,00004	0,000824 ± 0,000019	1,00E-13	97,43%	14,9200	155,15 ± 0,29	0,19%
au20.3d.adl.21f.txt	1	20	1,13202 ± 0,00216	0,07391 ± 0,00019	0,00099 ± 0,00003	0,00004 ± 0,00006	0,000087 ± 0,000016	1,20E-14	97,74%	14,9696	155,64 ± 0,84	0,54%
au20.3d.adl.21g.txt	1	20	2,86464 ± 0,00337	0,18773 ± 0,00031	0,00262 ± 0,00006	0,00007 ± 0,00006	0,000141 ± 0,000016	3,03E-14	98,54%	15,0369	156,31 ± 0,42	0,27%
au20.3d.adl.21h.txt	1	20	2,71300 ± 0,00212	0,17828 ± 0,00024	0,00247 ± 0,00004	0,00018 ± 0,00005	0,000113 ± 0,000015	2,87E-14	98,77%	15,0298	156,24 ± 0,35	0,23%
au20.3d.adl.21i.txt	1	20	7,41900 ± 0,00716	0,48713 ± 0,00114	0,00648 ± 0,00005	0,00003 ± 0,00007	0,000276 ± 0,000017	7,86E-14	98,90%	15,0624	156,56 ± 0,41	0,26%
au20.3d.adl.21j.txt	1	20	0,88150 ± 0,00148	0,05693 ± 0,00019	0,00074 ± 0,00004	-0,00001 ± 0,00005	0,000021 ± 0,000017	9,34E-15	99,28%	15,3719	159,64 ± 1,08	0,68%
au20.3d.adl.21k.txt	1	10	0,10502 ± 0,00030	0,00685 ± 0,00007	0,00009 ± 0,00004	0,00000 ± 0,00006	-0,000004 ± 0,000015	1,11E-15	101,18%	15,3285	159,21 ± 6,93	4,35%
au20.3d.adl.21l.txt	1	10	0,03896 ± 0,00026	0,00253 ± 0,00006	0,00002 ± 0,00004	0,00008 ± 0,00006	0,000004 ± 0,000016	4,13E-16	96,94%	14,9132	155,08 ± 19,90	12,83%
au20.3d.adl.21m.txt	1	10	0,09643 ± 0,00031	0,00638 ± 0,00007	0,00008 ± 0,00004	0,00000 ± 0,00005	-0,000038 ± 0,000015	1,02E-15	111,76%	15,1142	157,08 ± 7,29	4,64%

Plateau Age = 155.11±0.44 Ma  
(2σ, including J-error of .1%)  
MSWD = 0.22, probability = 0.80  
55.9% of the 39Ar, steps 4 through 6

91590 Incremental heating analyses of a single adularia crystal.

au20.3f.adl.31a.txt	0	20	2,79931 ± 0,00334	0,12914 ± 0,00029	0,00239 ± 0,00003	0,00017 ± 0,00005	0,003178 ± 0,000030	2,96E-14	66,45%	14,4046	150,00 ± 0,93	0,62%
au20.3f.adl.31b.txt	0	20	4,17458 ± 0,00384	0,28330 ± 0,00043	0,00383 ± 0,00005	0,00009 ± 0,00007	0,000024 ± 0,000019	4,42E-14	99,83%	14,7109	153,06 ± 0,34	0,22%
au20.3f.adl.31c.txt	0	20	3,08847 ± 0,00353	0,20808 ± 0,00047	0,00275 ± 0,00005	0,00001 ± 0,00006	-0,000005 ± 0,000017	3,27E-14	100,05%	14,8428	154,38 ± 0,47	0,30%
au20.3f.adl.31d.txt	1	20	7,17607 ± 0,00862	0,48102 ± 0,00048	0,00647 ± 0,00007	0,00016 ± 0,00006	0,000142 ± 0,000015	7,60E-14	99,42%	14,8316	154,26 ± 0,26	0,17%
au20.3f.adl.31e.txt	1	20	9,98542 ± 0,00731	0,66601 ± 0,00124	0,00904 ± 0,00006	0,00007 ± 0,00008	0,000385 ± 0,000017	1,06E-13	98,86%	14,8223	154,17 ± 0,32	0,21%
au20.3f.adl.31f.txt	1	20	7,16911 ± 0,00591	0,47529 ± 0,00081	0,00649 ± 0,00008	0,00038 ± 0,00005	0,000384 ± 0,000017	7,59E-14	98,42%	14,8450	154,40 ± 0,32	0,21%
au20.3f.adl.31g.txt	1	20	1,34983 ± 0,00125	0,08739 ± 0,00018	0,00117 ± 0,00004	0,00023 ± 0,00005	0,000118 ± 0,000019	1,43E-14	97,43%	15,0487	156,43 ± 0,77	0,49%
au20.3f.adl.31h.txt	1	20	1,82940 ± 0,00242	0,11868 ± 0,00023	0,00171 ± 0,00003	0,00058 ± 0,00005	0,000211 ± 0,000015	1,94E-14	96,59%	14,8890	154,84 ± 0,53	0,34%
au20.3f.adl.31i.txt	1	20	1,48481 ± 0,00199	0,09587 ± 0,00048	0,00132 ± 0,00004	0,00041 ± 0,00006	0,000121 ± 0,000017	1,57E-14	97,60%	15,1161	157,10 ± 0,99	0,63%
au20.3f.adl.31j.txt	1	20	0,92841 ± 0,00089	0,06027 ± 0,00016	0,00081 ± 0,00002	0,00025 ± 0,00006	0,000093 ± 0,000014	9,83E-15	97,06%	14,9519	155,46 ± 0,85	0,54%
au20.3f.adl.31k.txt	1	10	0,07086 ± 0,00029	0,00415 ± 0,00006	0,00007 ± 0,00002	0,00007 ± 0,00005	0,000039 ± 0,000014	7,50E-16	83,55%	14,2497	148,45 ± 11,03	7,43%
au20.3f.adl.31l.txt	1	10	0,05409 ± 0,00040	0,00319 ± 0,00008	0,00013 ± 0,00002	0,00005 ± 0,00006	-0,000002 ± 0,000015	5,73E-16	101,31%	16,9810	175,57 ± 15,23	8,67%

Age = 154.41±0.44 Ma  
(2σ, including J-error of .1%)  
MSWD = 1.7, probability = 0.14  
78% of the 39Ar, steps 3 through 8

102017	Incremental heating analyses of a single adularia crystal.											
au20.3h.adl.41a.txt	0	20	1,11132 ± 0,00106	0,01216 ± 0,00006	0,00083 ± 0,00003	0,00067 ± 0,00007	0,003188 ± 0,000026	1,18E-14	15,25%	13,9293	145,25 ± 9,15	6,30%
au20.3h.adl.41b.txt	0	20	1,37307 ± 0,00114	0,08870 ± 0,00029	0,00121 ± 0,00003	0,00283 ± 0,00010	0,000118 ± 0,000020	1,45E-14	97,48%	15,0905	156,84 ± 0,88	0,56%
au20.3h.adl.41c.txt	0	20	1,27605 ± 0,00183	0,08495 ± 0,00032	0,00119 ± 0,00004	0,00022 ± 0,00007	0,000008 ± 0,000018	1,35E-14	99,83%	14,9953	155,90 ± 0,90	0,58%
au20.3h.adl.41d.txt	0	20	1,81630 ± 0,00223	0,12077 ± 0,00021	0,00164 ± 0,00006	0,00010 ± 0,00006	0,000073 ± 0,000019	1,92E-14	98,81%	14,8604	154,55 ± 0,59	0,38%
au20.3h.adl.41e.txt	1	20	0,94880 ± 0,00129	0,06245 ± 0,00017	0,00081 ± 0,00003	0,00009 ± 0,00004	0,000075 ± 0,000017	1,00E-14	97,67%	14,8384	154,33 ± 0,97	0,63%
au20.3h.adl.41f.txt	1	20	0,92732 ± 0,00139	0,06100 ± 0,00016	0,00083 ± 0,00004	0,00005 ± 0,00003	0,000051 ± 0,000015	9,82E-15	98,36%	14,9538	155,48 ± 0,90	0,58%
au20.3h.adl.41g.txt	1	20	0,58018 ± 0,00057	0,03751 ± 0,00019	0,00055 ± 0,00003	-0,00004 ± 0,00006	0,000055 ± 0,000018	6,14E-15	97,20%	15,0358	156,30 ± 1,70	1,09%
au20.3h.adl.41h.txt	1	20	1,91695 ± 0,00273	0,12545 ± 0,00029	0,00174 ± 0,00003	0,00037 ± 0,00008	0,000156 ± 0,000018	2,03E-14	97,60%	14,9134	155,08 ± 0,61	0,40%
au20.3h.adl.41i.txt	1	20	1,13395 ± 0,00092	0,07185 ± 0,00033	0,00104 ± 0,00004	0,00050 ± 0,00005	0,000175 ± 0,000017	1,20E-14	95,44%	15,0629	156,57 ± 1,06	0,68%
au20.3h.adl.41j.txt	1	20	0,87772 ± 0,00156	0,05258 ± 0,00025	0,00077 ± 0,00003	0,00117 ± 0,00009	0,000299 ± 0,000019	9,30E-15	89,94%	15,0133	156,08 ± 1,41	0,91%
au20.3h.adl.41k.txt	1	20	0,07724 ± 0,00023	0,00379 ± 0,00010	0,00006 ± 0,00002	0,00021 ± 0,00006	0,000078 ± 0,000018	8,18E-16	69,99%	14,2771	148,73 ± 15,68	10,54%
au20.3h.adl.41l.txt	1	20	0,02044 ± 0,00024	0,00081 ± 0,00005	-0,00008 ± 0,00004	-0,00009 ± 0,00004	0,000037 ± 0,000015	2,16E-16	46,23%	11,7118	122,89 ± 61,90	50,37%

Plateau Age = 155.37±0.65 Ma  
(2σ, including J-error of .1%)  
MSWD = 0.91, probability = 0.53  
100% of the 39Ar, steps 1 through 12

111082		Incremental heating analyses of a single piece of intergrown adularia and quartz.										
au20.3j.adl.53e.txt	1 20	0,19559 ± 0,00042	0,00645 ± 0,00006	0,00012 ± 0,00004	0,00003 ± 0,00005	0,000247 ± 0,000017	2,07E-15	62,61%	18,9833	195,19 ± 8,50	4,36%	
au20.3j.adl.53f.txt	1 20	0,26844 ± 0,00036	0,01117 ± 0,00006	0,00025 ± 0,00003	0,00062 ± 0,00004	0,000224 ± 0,000016	2,84E-15	75,31%	18,1009	186,56 ± 4,69	2,51%	
au20.3j.adl.53m.txt	2 5	0,34664 ± 0,00059	0,00306 ± 0,00004	0,00029 ± 0,00003	0,00136 ± 0,00006	0,001036 ± 0,000020	3,67E-15	11,74%	13,2924	138,86 ± 28,52	20,54%	
au20.3j.adl.53o.txt	1 20	0,08237 ± 0,00031	0,00221 ± 0,00004	0,00004 ± 0,00002	0,00091 ± 0,00006	0,000157 ± 0,000016	8,72E-16	43,84%	16,3560	169,40 ± 23,19	13,69%	
au20.3j.adl.53p.txt	1 20	0,14269 ± 0,00029	0,00382 ± 0,00007	0,00011 ± 0,00003	0,00097 ± 0,00006	0,000284 ± 0,000020	1,51E-15	41,23%	15,4203	160,12 ± 17,82	11,13%	
au20.3j.adl.53q.txt	1 20	0,20223 ± 0,00037	0,00616 ± 0,00006	0,00017 ± 0,00004	0,00142 ± 0,00009	0,000349 ± 0,000019	2,14E-15	49,04%	16,1110	166,97 ± 9,97	5,97%	
au20.3j.adl.53r.txt	1 20	0,08568 ± 0,00046	0,00300 ± 0,00004	0,00005 ± 0,00003	0,00053 ± 0,00005	0,000105 ± 0,000016	9,07E-16	63,99%	18,2850	188,37 ± 17,07	9,06%	
au20.3j.adl.53s.txt	2 20	0,23169 ± 0,00036	0,00970 ± 0,00006	0,00018 ± 0,00003	0,00238 ± 0,00007	0,000294 ± 0,000018	2,45E-15	62,55%	14,9417	155,36 ± 5,84	3,76%	
au20.3j.adl.53t.txt	2 20	4,56764 ± 0,00669	0,29424 ± 0,00067	0,00400 ± 0,00006	0,01708 ± 0,00015	0,000570 ± 0,000018	4,84E-14	96,34%	14,9558	155,50 ± 0,48	0,31%	
au20.3j.adl.53u.txt	2 20	1,75835 ± 0,00198	0,05805 ± 0,00011	0,00137 ± 0,00003	0,00546 ± 0,00006	0,002998 ± 0,000035	1,86E-14	49,63%	15,0348	156,29 ± 1,98	1,26%	
au20.3j.adl.53v.txt	2 20	0,82593 ± 0,00094	0,05126 ± 0,00022	0,00074 ± 0,00003	0,00010 ± 0,00004	0,000159 ± 0,000017	8,75E-15	94,32%	15,1988	157,92 ± 1,25	0,79%	

Plateau age = 155.87±0.92 Ma  
(2s, including J-error of .1%)  
MSWD = 1.12, probability=0.35  
Includes 96.1% of the 39Ar

Samples were irradiated in the central core position of the USGS TRIGA reactor in Denver, Colorado, with cadmium shielding. Synthetic CaF<sub>2</sub> and KAlSiO<sub>4</sub> standards were included with the irradiation to determine calcium and potassium production factors, and Fish canyon sanidine (from an aliquot prepared at New Mexico Tech) was used to monitor production of <sup>39</sup>ArK, with an assigned age of 28.02 Ma (Renne et al., 1998). Monitors were placed in four positions (three alternating radial positions and one central position) for each layer of the irradiation package to evaluate vertical and radial gradients in J-value. Aliquots of air from an air pipette were measured daily to evaluate mass discrimination, and procedural blanks were measured following every five analyses of unknowns. Samples were analyzed in the Auburn Noble Isotope Mass Analysis Laboratory (ANIMAL) following gas extraction with a CO<sub>2</sub> laser using an automated extraction line, with data collection on an electron multiplier detector. Data presented are in volts unless otherwise indicated, and are corrected for backgrounds, mass discrimination, and decay of short-lived isotopes. 'P' refers to the laser power and 't' to seconds for laser heating; 'R' is the <sup>40</sup>Ar\*/<sup>39</sup>ArK ratio. All errors in measurement, individual calculated ages and plateau ages are the standard deviation (i.e., 1-sigma) unless noted otherwise. Plateau and biweight mean calculations were made using Isoplot (Ludwig, K.R., 2003, *Isoplot v. 3.0, A geochronology toolkit for Microsoft Excel*, Special Publication #4, Berkeley Geochronology Center).

Sensitivity (Moles/volt): 1,37E-14 1E-16  
J-Value: 28020000 112080  
Measured <sup>40</sup>Ar/<sup>36</sup>Ar: 290,0 1,5  
Mass Discrimination (% per amu): -0,00465313 0,001015228  
(36/37)Ca: 0,0002900 0,0000110  
(39/37)Ca: 0,0006800 0,0001100  
(40/39)K: 0 4E-04  
(38/39)Cl: 0,01 0,01  
% of Sample in Split 0,58  
Date of Irradiation: 14/08/2013  
analyses were completed by 12/12/2013

Sample	P	t	40	39	38	37	36	Moles <sup>40</sup> Ar	%Rad	R	Age (Ma)	%-sd
Adularia sample 22376												
au24.4o.kfs.92c.txta.txt	0	0	16,30658 ± 0,031024	1,19606 ± 0,003567	0,01636 ± 0,000138	0,00307 ± 0,000209	0,005263 ± 0,000050	1,14E-13	90,46%	12,3336	155,537 ± 0,63	0,4%
au24.4o.kfs.93a.txta.txt	0	0	17,75736 ± 0,012303	1,28701 ± 0,002259	0,01771 ± 0,000099	0,00295 ± 0,000133	0,006160 ± 0,000047	1,24E-13	89,75%	12,3832	156,137 ± 0,36	0,2%
au24.4o.kfs.94a.txta.txt	1,8	15	16,86778 ± 0,023203	1,18898 ± 0,001418	0,01730 ± 0,000082	0,00222 ± 0,000176	0,007304 ± 0,000038	1,18E-13	87,21%	12,3718	155,999 ± 0,35	0,2%
au24.4o.kfs.102a.txt	1,8	15	10,67603 ± 0,008023	0,76950 ± 0,001780	0,01067 ± 0,000072	0,00190 ± 0,000147	0,003696 ± 0,000037	7,48E-14	89,77%	12,4551	157,004 ± 0,46	0,3%
au24.4o.kfs.103a.txt	1,8	15	4,09738 ± 0,004744	0,25876 ± 0,000700	0,00438 ± 0,000075	0,00147 ± 0,000236	0,002984 ± 0,000069	2,87E-14	78,48%	12,4274	156,670 ± 1,16	0,7%
au24.4o.kfs.104a.txt	1,8	15	13,95582 ± 0,005384	1,03017 ± 0,001446	0,01413 ± 0,000130	0,00174 ± 0,000097	0,003814 ± 0,000054	9,77E-14	91,92%	12,4531	156,981 ± 0,32	0,2%
au24.4o.kfs.105a.txt	1,8	15	11,72731 ± 0,007766	0,63602 ± 0,001263	0,01100 ± 0,000151	0,00180 ± 0,000196	0,012790 ± 0,000071	8,21E-14	67,77%	12,4966	157,506 ± 0,66	0,4%
au24.4o.kfs.106a.txt	1,8	15	9,23182 ± 0,011406	0,54225 ± 0,000884	0,00901 ± 0,000053	0,00121 ± 0,000267	0,008430 ± 0,000072	6,47E-14	73,02%	12,4313	156,718 ± 0,67	0,4%
au24.4o.kfs.107b.txt	0	0	17,69467 ± 0,011198	1,19478 ± 0,001420	0,01734 ± 0,000121	0,00205 ± 0,000263	0,009759 ± 0,000053	1,24E-13	83,70%	12,3965	156,297 ± 0,30	0,2%
au24.4p.kfs.71a.txt	1,8	12	18,26547 ± 0,010614	1,32106 ± 0,001649	0,01875 ± 0,000086	0,00310 ± 0,000142	0,006324 ± 0,000042	1,28E-13	89,77%	12,4121	156,530 ± 0,27	0,2%
au24.4p.kfs.72a.txt	1,8	12	10,65267 ± 0,009803	0,64510 ± 0,001418	0,01047 ± 0,000094	0,00304 ± 0,000153	0,008803 ± 0,000083	7,46E-14	75,58%	12,4814	157,367 ± 0,70	0,4%
au24.4p.kfs.73a.txt	1,8	12	22,01721 ± 0,008818	1,64603 ± 0,002341	0,02236 ± 0,000118	0,00348 ± 0,000257	0,005338 ± 0,000047	1,54E-13	92,84%	12,4179	156,600 ± 0,27	0,2%
au24.4p.kfs.74a.txta.txt	0	0	16,39998 ± 0,015818	1,14636 ± 0,000979	0,01693 ± 0,000143	0,00650 ± 0,000243	0,007977 ± 0,000055	1,15E-13	85,63%	12,2505	154,578 ± 0,29	0,2%
au24.4p.kfs.75a.txt	1,8	12	12,45242 ± 0,004373	0,87108 ± 0,001927	0,01298 ± 0,000100	0,00263 ± 0,000157	0,005441 ± 0,000060	8,72E-14	87,09%	12,4500	156,988 ± 0,48	0,3%
au24.4p.kfs.76a.txt	1,8	12	12,64178 ± 0,008573	0,80713 ± 0,001430	0,01227 ± 0,000131	0,00301 ± 0,000142	0,009185 ± 0,000083	8,85E-14	78,53%	12,3004	155,181 ± 0,54	0,3%
au24.4p.kfs.77a.txt	1,8	12	13,29686 ± 0,009579	0,89125 ± 0,001474	0,01366 ± 0,000091	0,00155 ± 0,000281	0,007656 ± 0,000091	9,31E-14	82,99%	12,3811	156,155 ± 0,51	0,3%
au24.4p.kfs.78a.txt	1,8	12	20,04891 ± 0,010689	1,39649 ± 0,001553	0,02072 ± 0,000100	0,00252 ± 0,000254	0,009568 ± 0,000080	1,40E-13	85,90%	12,3323	155,566 ± 0,31	0,2%
au24.4p.kfs.79a.txt	1,8	12	11,25807 ± 0,008877	0,82215 ± 0,001157	0,01145 ± 0,000117	0,00284 ± 0,000162	0,003564 ± 0,000041	7,88E-14	90,65%	12,4130	156,541 ± 0,33	0,2%
au24.4p.kfs.80a.txt	1,8	12	21,66298 ± 0,012021	1,45246 ± 0,001761	0,02292 ± 0,000203	0,00315 ± 0,000234	0,012664 ± 0,000109	1,52E-13	82,73%	12,3385	155,641 ± 0,38	0,2%
au24.4p.kfs.81a.txta.txt	0	0	17,49770 ± 0,010233	1,16788 ± 0,001400	0,01721 ± 0,000105	0,00149 ± 0,000389	0,010361 ± 0,000056	1,23E-13	82,50%	12,3609	155,911 ± 0,31	0,2%

au24.4o.kfs.108a.txt	1,8	10	6,26283 ± 0,004202	0,40897 ± 0,000706	0,00630 ± 0,000044	0,00088 ± 0,000267	0,004072 ± 0,000053	4,39E-14	80,79%	12,3714	155,994 ± 0,60	0,4%
au24.4o.kfs.109a.txt	1,8	10	11,54053 ± 0,007380	0,73852 ± 0,000869	0,01128 ± 0,000115	0,00211 ± 0,000259	0,007992 ± 0,000116	8,08E-14	79,54%	12,4289	156,688 ± 0,64	0,4%
au24.4o.kfs.113a.txt	1,8	10	1,41219 ± 0,002487	0,08169 ± 0,000150	0,00167 ± 0,000048	0,00132 ± 0,000171	0,001280 ± 0,000026	9,89E-15	73,23%	12,6592	159,467 ± 1,32	0,8%
au24.4o.kfs.114a.txt	1,8	10	9,91343 ± 0,011954	0,74542 ± 0,001249	0,01000 ± 0,000107	0,00114 ± 0,000194	0,002296 ± 0,000030	6,94E-14	93,16%	12,3891	156,208 ± 0,38	0,2%
au24.4o.kfs.115a.txt	1,8	10	16,74355 ± 0,008062	1,25009 ± 0,002120	0,01690 ± 0,000146	0,00231 ± 0,000212	0,004385 ± 0,000066	1,17E-13	92,26%	12,3575	155,826 ± 0,36	0,2%
au24.4o.kfs.116a.txt	1,8	10	21,95676 ± 0,011340	1,53541 ± 0,002147	0,02160 ± 0,000103	0,00166 ± 0,000143	0,009506 ± 0,000047	1,54E-13	87,21%	12,4708	157,195 ± 0,29	0,2%
au24.4o.kfs.117a.txt	1,8	10	8,09477 ± 0,007773	0,55500 ± 0,000966	0,00843 ± 0,000069	0,00198 ± 0,000179	0,004034 ± 0,000065	5,67E-14	85,28%	12,4377	156,794 ± 0,57	0,4%
au24.4o.kfs.118a.txt	1,8	10	8,26034 ± 0,009337	0,54351 ± 0,000933	0,00833 ± 0,000078	0,00152 ± 0,000142	0,005114 ± 0,000057	5,78E-14	81,71%	12,4179	156,556 ± 0,56	0,4%
au24.4p.kfs.82a.txt	1,8	10	15,81934 ± 0,009696	1,22857 ± 0,001947	0,01649 ± 0,000087	0,00260 ± 0,000169	0,001812 ± 0,000048	1,11E-13	96,62%	12,4405	156,874 ± 0,31	0,2%
au24.4p.kfs.83a.txt	1,8	10	18,65885 ± 0,009674	1,31814 ± 0,002506	0,01876 ± 0,000120	0,00104 ± 0,000321	0,007613 ± 0,000041	1,31E-13	87,94%	12,4489	156,975 ± 0,37	0,2%
au24.4p.kfs.84a.txt	1,8	10	14,69121 ± 0,006533	1,07245 ± 0,001492	0,01494 ± 0,000158	0,00220 ± 0,000216	0,004634 ± 0,000054	1,03E-13	90,68%	12,4222	156,652 ± 0,32	0,2%
au24.4p.kfs.85a.txt	1,8	10	7,92702 ± 0,002375	0,62014 ± 0,001250	0,00815 ± 0,000051	0,00018 ± 0,000231	0,000880 ± 0,000023	5,55E-14	96,72%	12,3631	155,938 ± 0,36	0,2%

Mean = 156.41±0.20 [0.13%] 95% conf  
Wtd by data-pt errs only, 2 of 32 rej.  
MSWD = 1.9, probability = 0.003

au24.4p.kfs.65a.txt	0,3	40	0,00025 ± 0,00018	0,00000 ± 0,00009	0,00010 ± 0,00005	0,00010 ± 0,00015	0,000007 ± 0,00002	1,74E-18	-746,17%	-628,7688	2632,08 ± 12941,72	491,7%
au24.4p.kfs.65b.txt	0,35	40	0,00480 ± 0,00022	0,00022 ± 0,00008	0,00008 ± 0,00006	0,00019 ± 0,00015	-0,000071 ± 0,00004	3,36E-17	537,24%	21,6692	265,02 ± 810,03	305,6%
au24.4p.kfs.65c.txt	0,4	40	1,47045 ± 0,00119	0,01520 ± 0,00019	0,00134 ± 0,00006	0,00011 ± 0,00018	0,004420 ± 0,00004	1,03E-14	11,18%	10,8102	137,08 ± 22,67	16,5%
au24.4p.kfs.65d.txt	0,45	40	0,46861 ± 0,00078	0,01779 ± 0,00015	0,00054 ± 0,00005	0,00051 ± 0,00020	0,000872 ± 0,00003	3,28E-15	45,02%	11,8564	149,80 ± 6,32	4,2%
au24.4p.kfs.65e.txt	0,5	40	1,12459 ± 0,00190	0,07678 ± 0,00025	0,00120 ± 0,00006	0,00053 ± 0,00019	0,000598 ± 0,00002	7,88E-15	84,28%	12,3451	155,72 ± 1,34	0,9%
au24.4p.kfs.65f.txt	0,55	40	1,01727 ± 0,00135	0,07767 ± 0,00019	0,00122 ± 0,00005	0,00022 ± 0,00015	0,000086 ± 0,00002	7,12E-15	97,51%	12,7709	160,86 ± 1,09	0,7%
au24.4p.kfs.65g.txt	0,6	40	1,88414 ± 0,00125	0,14960 ± 0,00062	0,00192 ± 0,00004	0,00054 ± 0,00020	0,000079 ± 0,00002	1,32E-14	98,77%	12,4393	156,86 ± 0,88	0,6%
au24.4p.kfs.65h.txt	0,65	40	3,17414 ± 0,00227	0,25294 ± 0,00038	0,00329 ± 0,00005	0,00079 ± 0,00031	0,000075 ± 0,00002	2,22E-14	99,30%	12,4617	157,13 ± 0,40	0,3%
au24.4p.kfs.65i.txt	0,7	40	3,81031 ± 0,00212	0,30223 ± 0,00056	0,00394 ± 0,00005	0,00115 ± 0,00029	0,000187 ± 0,00002	2,67E-14	98,55%	12,4247	156,68 ± 0,39	0,3%
au24.4p.kfs.65j.txt	0,73	40	4,96380 ± 0,00301	0,38474 ± 0,00084	0,00507 ± 0,00005	0,00095 ± 0,00019	0,000706 ± 0,00002	3,48E-14	95,80%	12,3594	155,89 ± 0,44	0,3%
au24.4p.kfs.65k.txt	0,76	40	17,26751 ± 0,00437	1,17842 ± 0,00115	0,01717 ± 0,00013	0,00343 ± 0,00019	0,009007 ± 0,00005	1,21E-13	84,59%	12,3947	156,32 ± 0,24	0,2%
au24.4p.kfs.65l.txt	0,79	40	3,23622 ± 0,00257	0,19665 ± 0,00064	0,00306 ± 0,00005	0,00043 ± 0,00026	0,002593 ± 0,00003	2,27E-14	76,32%	12,5598	158,31 ± 0,90	0,6%
au24.4p.kfs.65m.txt	0,82	40	1,44687 ± 0,00135	0,08755 ± 0,00023	0,00137 ± 0,00004	0,00031 ± 0,00016	0,001141 ± 0,00002	1,01E-14	76,69%	12,6743	159,69 ± 1,20	0,8%
au24.4p.kfs.65n.txt	0,85	40	1,49656 ± 0,00188	0,09242 ± 0,00038	0,00128 ± 0,00007	0,00090 ± 0,00026	0,001195 ± 0,00002	1,05E-14	76,42%	12,3742	156,07 ± 1,31	0,8%
au24.4p.kfs.65n.txt	0,85	40	1,49656 ± 0,00188	0,09186 ± 0,00053	0,00128 ± 0,00007	0,00090 ± 0,00026	0,001195 ± 0,00002	1,05E-14	76,42%	12,4499	156,99 ± 1,57	1,0%
au24.4p.kfs.65o.txt	0,9	40	0,60803 ± 0,00103	0,03614 ± 0,00016	0,00057 ± 0,00005	0,00023 ± 0,00016	0,000518 ± 0,00002	4,26E-15	74,83%	12,5915	158,70 ± 2,47	1,6%
au24.4p.kfs.65p.txt	0,95	40	0,33932 ± 0,00054	0,01915 ± 0,00012	0,00030 ± 0,00003	0,00012 ± 0,00015	0,000332 ± 0,00003	2,38E-15	71,13%	12,6005	158,80 ± 5,09	3,2%
au24.4p.kfs.65q.txt	1	40	0,12179 ± 0,00051	0,00592 ± 0,00020	0,00015 ± 0,00003	-0,00028 ± 0,00016	0,000122 ± 0,00002	8,53E-16	70,52%	14,4952	181,52 ± 16,00	8,8%
au24.4p.kfs.65r.txt	1,05	40	0,05112 ± 0,00030	0,00192 ± 0,00013	0,00006 ± 0,00004	-0,00005 ± 0,00020	0,000069 ± 0,00002	3,58E-16	59,91%	15,9220	198,44 ± 46,36	23,4%
au24.4p.kfs.65s.txt	1,1	20	0,00922 ± 0,00019	0,00016 ± 0,00012	0,00004 ± 0,00003	0,00020 ± 0,00010	-0,000019 ± 0,00002	6,45E-17	161,17%	58,1389	638,40 ± 692,86	108,5%

Total Gas Age = 156.68±0.47 Ma  
(95% conf.), including J-error of .000011%  
MSWD = 2.0, probability = 0.005  
100% of the 39Ar, steps 1 through 20

**au24.4p.kfs.65**  
Age = 156.61±0.16 Ma (1σ)  
MSWD = 1.6, probability = 0.074  
93.7% of the 39Ar, steps 7 through 20



## ANEXO D

Análisis de isótopos estables



Date Submitted: 06-Mar-13  
Invoice No.: A13-02522  
Invoice Date: 18-Jun-13  
Your Reference:

Universidad de La Plata  
Paseo Del Bosque S/N 1900

La Plata  
Argentina

ATTN: Conrado Permuy Vidal

## CERTIFICATE OF ANALYSIS

17 Rock samples were submitted for analysis.

The following analytical packages were requested:

REPORT **A13-02522**

Code 10A 13C & 18O Carbonates Isotopic Analysis  
Code 10A 18O Silicates Isotopic Analysis  
Code 10A 34S-Sulphides Isotopic Analysis  
Code 10A Deuterium-Minerals Deuterium Isotopic Analysis  
Code 10B Mineral Separation Mineral Separation for Dating  
Code 4F-CO2 Infrared  
Code 4F-H2O+ Gravimetric

This report may be reproduced without our consent. If only selected portions of the report are reproduced, permission must be obtained. If no instructions were given at time of sample submittal regarding excess material, it will be discarded within 90 days of this report. Our liability is limited solely to the analytical cost of these analyses. Test results are representative only of material submitted for analysis.

### Notes:

CERTIFIED BY :

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Emmanuel Esemé".

Emmanuel Esemé , Ph.D.  
Quality Control

### ACTIVATION LABORATORIES LTD.

1336 Sandhill Drive, Ancaster, Ontario Canada L9G 4V5 TELEPHONE +1.905.648.9611 or  
+1.888.228.5227 FAX +1.905.648.9613  
E-MAIL [Ancaster@actlabs.com](mailto:Ancaster@actlabs.com) ACTLABS GROUP WEBSITE [www.actlabs.com](http://www.actlabs.com)



Analyte Symbol	d34S (VCDT) per mil	d18O- (VPDB) per mil	d13C (VPDB) per mil
Unit Symbol			
Detection Limit			
Analysis Method	ISO	ISO	ISO
102059/60		-29.4	-8.52
112672	0.235		
96336			
109284			
100926		-28.8	-9.02
112251			
107532	0.900	-31.1	-9.15
112224		-31.1	-8.65
112245		-29.0	-8.68
106980	-0.510		
79391			
15799			
21626-PC			
21314		-26.0	-7.27
15793		-11.8	-7.39
53631			
21151		-24.2	-6.12

**Quality Control**

Analyte Symbol	d34S (VCDT)	d18O- (VPDB)	d13C (VPDB)
Unit Symbol	per mil	per mil	per mil
Detection Limit			
Analysis Method	ISO	ISO	ISO
112672 Orig	0.230		
112672 Dup	0.240		
112224 Orig		-31.0	-8.67
112224 Dup		-31.3	-8.62
21314 Orig		-26.0	-7.36
21314 Dup		-25.9	-7.17
15793 Orig		-11.6	-7.41
15793 Dup		-11.9	-7.38
21151 Orig		-24.3	-6.19
21151 Dup		-24.1	-6.05